



TUGAS AKHIR - TM141585

**EVALUASI UNJUK KERJA PENGARUH SISTEM
PROTEKSI WATER HAMMER (SURGE TANK
dan GAS ACCUMULATOR TIPE AS) PADA
SISTEM PERPIPAAN : STUDI KASUS di RUMAH
POMPA PRODUKSI UNIT INSTALASI
PENGOLAHAN AIR MINUM (IPAM) KARANG
PILANG 3 PT. SURYA SEMBADA SURABAYA**

**PANGKI FERDIANSYAH
NRP. 2115 105 038**

**Dosen Pembimbing
Nur Ikhwan, ST.,M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR - TM141585

**EVALUASI UNJUK KERJA PENGARUH SISTEM
PROTEKSI WATER HAMMER (SURGE TANK
dan GAS ACCUMULATOR TIPE AS) PADA
SISTEM PERPIPAAN : STUDI KASUS di RUMAH
POMPA PRODUKSI UNIT INSTALASI
PENGOLAHAN AIR MINUM (IPAM) KARANG
PILANG 3 PT. SURYA SEMBADA SURABAYA**

**PANGKI FERDIANSYAH
NRP. 2115 105 038**

**Dosen Pembimbing
Nur Ikhwan, ST.,M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - TM141585

**EVALUATION OF PERFORMANCE EFFECT OF
PROTECTIVE WATER HAMMER SYSTEM
(SURGE TANK AND GAS ACCUMULATOR AS
TYPE) ON THE PIPING SYSTEM : CASE STUDY
AT PUMP STATION PRODUCTION UNIT
TREATMENT PLANT WATER (IPAM) KARANG
PILANG 3 PT. PDAM SURYA SEMBADA
SURABAYA**

**PANGKI FERDIANSYAH
NRP. 2115 105 038**

**Counselor Lecturer
Nur Ikhwan, ST.,M.Eng.**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institute Technology of Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

**EVALUASI UNJUK KERJA PENGARUH PROTEKSI
WATER HAMMER (SURGE TANK DAN GAS
ACCUMULATOR TIPE AS) PADA SISTEM
PERPIPAAN : STUDI KASUS di RUMAH POMPA
PRODUKSI UNIT INSTALASI PENGOLAHAN AIR
MINUM (IPAM) KARANG PILANG 3 PT. PDAM
SURYA SEMBADA SURABAYA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

PANGKI FERDIANSYAH

NRP. 2115 105 038

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Nur Ikhwan, ST. M.Eng.
(NIP. 196709151995121001) (Pembimbing)
2. Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.
(NIP. 197104051997021001) (Penguji I)
3. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D.
(NIP. 196412281990031002) (Penguji II)
4. Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT.
(NIP. 196202161995121001) (Penguji III)

SURABAYA

JULI, 2017

Halaman sengaja dikosongkan

**EVALUASI UNJUK KERJA PENGARUH SISTEM
PROTEKSI WATER HAMMER (SURGE TANK DAN GAS
ACCUMULATOR TIPE AS) PADA SISTEM PERPIPAAN :
STUDI KASUS DI RUMAH POMPA PRODUKSI UNIT
INSTALASI PENGOLAHAN AIR MINUM (IPAM)
KARANG PILANG 3 PT PDAM SURYA SEMBADA
SURABAYA**

Nama Mahasiswa : Pangki Ferdiansyah
NRP : 2115105038
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Nur Ikhwan, ST., M. Eng.

Abstrak

Pada dunia industri, peran sistem jaringan perpipaan sangatlah penting sebagai penunjang sistem produksi maupun sistem distribusi. Perencanaan awal dari sebuah instalasi menjadi hal utama yang perlu diperhatikan secara khusus. Perlu data-data yang detail pada komponen yang akan dibangun baik itu spesifikasi dari pompa, pipa, bahkan proteksi yang digunakan, sehingga sistem dapat bekerja dengan baik. Salah satu fenomena membahayakan yang terjadi pada sistem perpipaan, yaitu fenomena water hammer. Water hammer merupakan fenomena terjadinya fluktuasi tekanan yang timbul akibat peningkatan dan penurunan kecepatan aliran dalam perpipaan yang terjadi tiba-tiba. Hal ini diakibatkan oleh padamnya listrik, penutupan valve secara cepat ataupun terjadi kegagalan operasi pada pompa itu sendiri. Fenomena ini mempunyai dampak negatif untuk sistem perpipaan dengan selang waktu tertentu dan dampak yang ditimbulkan terjadi seketika itu juga. Penanganan yang cepat menjadi alasan utama untuk mengatasi water hammer, yaitu menggunakan proteksi water hammer. Ada 3 jenis proteksi water hammer yang sering digunakan diantaranya flywheel, surge tank dan gas accumulator. Penelitian ini hanya mendiskusikan tentang surge tank dan gas accumulator.

Pada penelitian ini, pemodelan sistem perpipaan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak AFT Impulse

4.0. Sistem perpipaan yang disimulasikan merupakan sistem perpipaan dengan rangkaian pompa paralel dengan proteksi water hammer (surge tank) pada kondisi aktual di unit IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya dan pemasangan gas accumulator sebagai pengganti dari surge tank. Penelitian ini dilakukan beberapa variasi yaitu, pada surge tank dilakukan variasi liquid height level sedangkan pada gas accumulator dilakukan variasi volume. Analisa yang dilakukan untuk mempelajari fenomena water hammer pada skenario 1 pompa 1 on dan 1 pompa off. Hal ini untuk melihat dampak dari pemasangan surge tank dan gas accumulator yang telah di variasikan. Variasi liquid height level pada surge tank, yaitu 1m, 3m dan 5m sedangkan pada bladder gas accumulator tipe AS, yaitu 25 liter, 35 liter dan 55 liter.

Hasil yang didapatkan pada simulasi berupa plot grafik dari fluktuasi tekanan yang terjadi pada sistem perpipaan. Dari dua variasi proteksi water hammer mampu untuk mereduksi/meredam terjadinya lonjakan tekanan akibat water hammer dibandingkan pada kondisi aktual. Variasi liquid height level 5 meter pada surge tank lebih mampu mereduksi lonjakan tekanan dibandingkan variasi liquid height level lainnya dan variasi volume 55 liter gas accumulator lebih mampu mereduksi lonjakan dan fluktuasi tekanan dibandingkan variasi volume lainnya. Jika dibandingkan antara keduanya, variasi volume 55 liter gas accumulator lebih efektif untuk meredam/mereduksi lonjakan tekanan akibat water hammer.

Kata kunci : water hammer, discharge, AFT Impulse, surge tank, gas accumulator

**EVALUATION OF PERFORMANCE EFFECT OF
PROTECTIVE WATER HAMMER SYSTEM (SURGE TANK
AND GAS ACCUMULATOR AS TYPE) ON THE PIPING
SYSTEM: CASE STUDY AT PUMP STATION
PRODUCTION UNIT TREATMENT PLANT WATER
(IPAM) KARANG PILANG 3 PT. PDAM SURYA
SEMBADA SURABAYA**

Name : Pangki Ferdiansyah
NRP : 2115105038
Major : Mechanical Engineering
Supervisor : Nur Ikhwan, ST., M. Eng.

Abstract

In the industrial world, the role of the pipeline system is important as a supporting system of production and distribution system. The initial planning of an installation being the main things that need special attention. It need detailed data on the components that will be built whether the specification of pumps, pipes, protection, so that the system can work well. One of the harmful phenomenon that occurs in the piping system is water hammer. Water hammer phenomenon is the occurrence of pressure fluctuations arising due to increase or decrease the flow velocity in the piping happened suddenly. This is caused by the power outage, closing the valve as quickly or there is a failure in the operation of the pump. This phenomenon has a negative effects for the piping system wit a certain time interval and the impact caused to happen instantaneously. The handling is fast becoming the main reason for overcoming water hammer, which uses water hammer protection. There are 3 types of water hammer protection, flywheel, surge tank and gas accumulator. This research only discuss about the surge tank and the gas accumulator.

In this research, modeling of piping systems is done by using software AFT Impulse 4.0. The piping system will be analyzed is piping systems with parallel pumps use water hammer protection (surge tank) at actual conditions in the unit IPAM

Karang Pilang 3 PT Surya Sembada PDAM Surabaya and installation of gas accumulator as a comparison. The research was carried out several variations, liquid height level variation on surge tank and while volume variation at gas accumulator. The analysis carried out to study the phenomenon of water hammer on scenario one pump on and one off. This is to look impact of the installation of the surge tank and gas accumulator that has been varying. Variation of the liquid height level on surge tank, which is 1m, 3m and 5m and the gas bladder accumulator type AS 25 litres, 35 litres and 55 litres.

The results obtained in the simulation in the form of a plot graph of pressure fluctuations which occur in piping systems. The two variations of water hammer protection are able to reduce the occurrence of pressure due to water hammer than on actual conditions. Variation of the liquid height level 5 meter on the surge tank better able to reduce fluctuation of pressure variation compared to other liquid height level and volume variations of 55 litres at gas accumulator is more able to reduce fluctuation of pressure variation compared to other volume. Comparison between two variations, variation of volume 55 litres of gas accumulator is more effective to reduce fluctuation of pressure due to water hammer.

Keywords : water hammer, discharge, AFT Impulse, surge tank, gas accumulator

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dengan segala keterbatasannya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu secara moral maupun materi, yakni:

1. Bapak Nur Ikhwan, ST., M.Eng. sebagai dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan bimbingan dan ilmu mengenai mekanika fluida yang terkait dengan tugas akhir.
2. Bapak Ir. Bambang Pramujati M.Sc.Eng.,Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Ibu Darojatun Karimah selaku ibu kandung penulis yang selalu mencurahkan doa tanpa sepengetahuan penulis
4. Ayah Rijanto selaku ayah kandung penulis yang selalu memberikan semangatnya
5. Sandika Tri Sucahyo dan Tesar Pratama selaku saudara kandung penulis yang selalu memberikan motivasi dan dukungannya.
6. Nuril Laily Alfany yang selalu memberikan semangat, motivasi dan doa nya untuk penulis.
7. Keluarga dari Nuril Laily Alfany, yaitu Ayah Taufik, Mama Tia dan Nuvis yang telah membantu dan mendoakan penulis.
8. Firdaus Zakaria atas kerja samanya dalam mengerjakan dan menjadi *partner* yang baik.
9. Alam, Kohar dan Ook yang telah menemani penulis dalam penyelesaian tugas akhir.
10. Seluruh teman-teman angkatan Lintas Jalur (LJ) 2015 yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis. Terimakasih atas segala kritik , saran, motivasi dan kebahagiaan yang telah kalian berikan.
11. Seluruh Dosen dan Karyawan yang telah banyak membimbing penulis dalam menggali ilmu di Jurusan Teknik Mesin ITS.

12. Seluruh pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan doa, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

Judul id.....	i
Judul en.....	ii
Lembar Pengesahan.....	iii
Abstrak.....	v
Abstract.....	vii
Kata Pengantar.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Perumusan Masalah.....	2
I.3 Batasan Masalah.....	3
I.4 Tujuan Penelitian.....	4
I.5 Manfaat Penelitian.....	4
I.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Mekanika Fluida.....	7
II.2 Sifat-Sifat Fluida.....	8
II.2.1 Densitas.....	8
II.2.2 Viskositas.....	9
II.3 Water hammer.....	10
II.3.1 Fenomena Water hammer.....	11
II.3.2 Penyebab Water hammer.....	13
II.3.3 Pencegahan Water hammer.....	14

II.4	Metode Karakteristik Water hammer.....	16
II.4.1	Persamaan Momentum.....	16
II.5	Teori Pompa.....	17
II.6	<i>Trip</i> dengan Inersia dan Tidak Ada Aliran Balik.....	20
II.7	Proteksi <i>Water hammer</i> di Unit IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya.....	20
II.7.1	Teori Surge tank.....	20
II.7.2	Teori Gas Accumulator.....	21
II.8	Estimasi Momen Inersia Impeller Pompa dan Motor Penggerak.....	24
II.9	Perangkat Lunak AFT Impulse 4.0.....	25
II.10	Kajian Terdahulu.....	25
II.10.1	Ramadan dan Mustafa (2013).....	25
II.10.2	Constantin dan Nitescu (2011).....	28
II.10.3	Branwal, M.K., dkk (2014).....	29

BAB III METODOLOGI

III.1	Proses Pemodelan Sistem Perpipaan.....	31
III.2	Skema Pemodelan Perpipaan Pada Simulasi.....	37
III.3	Skenario Operasi Pompa.....	39
III.3.1	Skenario 1 pompa ON dan 1 Pompa OFF (<i>Trip</i> dengan Inersia Tanpa Aliran Balik) dengan Proteksi <i>Surge tank</i>	39
III.3.2	Skenario 1 pompa ON dan 1 Pompa OFF (<i>Trip</i> dengan Inersia Tanpa Aliran Balik) dengan Proteksi Gas <i>Accumulator</i>	40
III.4	Titik Analisa Pemodelan Sistem Perpipaan.....	41
III.4.1	Titik Analisa pada Skenario 1 pompa ON dan 1 Pompa OFF dengan Proteksi <i>Surge tank</i>	41

III.4.2	Titik Analisa pada Skenario 1 pompa ON dan 1 Pompa OFF dengan Proteksi Gas Accumulator.....	43
III.5	Skema Diagram Alir.....	45
BAB IV HASIL dan PEMBAHASAN		
IV.1	Analisa <i>Steady</i>	47
IV.2	Hasil Simulasi.....	47
IV.2.1	Skenario 1 pompa <i>on</i> dan 1 pompa <i>off</i> – dengan variasi <i>liquid height level</i> pada <i>surge tank</i>	48
IV.2.2	Skenario 1 pompa <i>on</i> dan 1 pompa <i>off</i> – dengan variasi <i>volume gas accumulator</i>	52
IV.2.3	Perbandingan grafik untuk pemodelan dengan variasi <i>liquid height level surge tank vs volume gas accumulator</i>	56
BAB V KESIMPULAN dan SARAN		
V.1	Kesimpulan.....	61
V.2	Saran.....	63

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Halaman sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Fenomena Water Hammer.....	1
Gambar 2.2	Skema Fenomena <i>Water hammer</i> Setelah Penutupan <i>Valve</i> Pada (a) $0 \leq t \leq L/a$, (b) $L/a \leq t \leq 2L/a$, (c) $2L/a \leq t \leq 3L/a$, dan (d) $3L/a \leq t \leq 4L/a$	11
Gambar 2.3	Operasi Tunggal, Seri Dan Paralel Dari Pompa-pompa Dengan Karakteristik Yang Sama	18
Gambar 2.4	Skema Instalasi <i>Surge Tank</i>	21
Gambar 2.5	Diagram pV di dalam <i>Gas Accumulator</i>	22
Gambar 2.6	Bladder Accumulator.....	23
Gambar 2.7	Skema Dari Hydro-Electric Pembangkit Dengan <i>Surge tank</i>	25
Gambar 2.8	Variasi <i>Surge tank level</i> ($A_S=100,300,500, 700,900,1100,1300$ Dan 1500 m^2) yang Berpengaruh Terhadap <i>First upsurge</i>	26
Gambar 2.9	Variasi <i>Surge tank Level</i> ($A_S=100,300,500, 700,900,1100,1300$ Dan 1500 m^2) yang Berpengaruh Terhadap <i>Discharge rate</i>	27
Gambar 2.10	Variasi Dari <i>First upsurge</i> Dengan Cross-sectional Area Dari <i>Surge tank</i>	27
Gambar 2.11	Skema Instalsi Perpipaan.....	28
Gambar 2.12	Variasi β pada Sistem Perpipaan menggunakan <i>Gas Accumulator</i>	29
Gambar 2.13	Lonjakan tekanan dengan kapasitas <i>accumulator</i> yang berbeda dan tekanan <i>pre-charge</i> 70 bar.....	29

Gambar 2.14	Lonjakan tekanan dengan kapasitas <i>accumulator</i> 10L dan tekanan <i>pre-charge</i> berbeda.....	30
Gambar 2.15	Lonjakan tekanan dengan kapasitas <i>accumulator</i> 20L dan tekanan <i>pre-charge</i> berbeda.....	30
Gambar 3.1	Skema instalasi perpipaan di rumah pompa Unit IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya distribusi Putat Gede.....	32
Gambar 3.2	Pemodelan Sistem Perpipaan Di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya dengan menggunakan <i>Software</i> AFT Impulse 4.0.....	33
Gambar 3.3	Kurva Performa Pompa Sentrifugal Torishima CDMV 450x350.....	35
Gambar 3.4	Skema Surge tank.....	36
Gambar 3.5	<i>Layout</i> Pemodelan Instalasi Perpipaan Dengan Variasi Liquid Height Level <i>Surge tank</i>	38
Gambar 3.6	<i>Layout</i> Pemodelan Instalasi Perpipaan Dengan Variasi Volume pada <i>Gas Accumulator</i>	38
Gambar 3.7	Skenario Simulasi dengan Kondisi 1 Pompa <i>ON</i> dan 1 Pompa <i>OFF</i> dengan Proteksi <i>Surge Tank</i>	39

Gambar 3.8	Skenario Simulasi dengan Kondisi 1 Pompa <i>ON</i> dan 1 Pompa <i>OFF</i> dengan Proteksi <i>Gas Accumulator</i>	40
Gambar 3.9	Titik-titik Analisa Pada Simulasi Dengan Skenario 1 Pompa <i>ON</i> & 1 Pompa <i>OFF</i> dengan proteksi <i>Surge tank</i>	41
Gambar 3.10	Titik-titik Analisa Pada Simulasi Dengan Skenario 1 Pompa <i>ON</i> & 1 Pompa <i>OFF</i> dengan proteksi <i>Gas Accumulator</i>	43
Gambar 3.11	Diagram Alir Penelitian.....	46
Gambar 4.1	Hasil Simulasi Untuk Analisa Kondisi <i>Steady</i> pada Pemodelan Sistem Perpipaan di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya.....	47
Gambar 4.2	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet (<i>Discharge</i> pompa 1) dengan Variasi <i>Liquid height level Surge tank</i>	48
Gambar 4.3	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet (<i>Discharge</i> pompa 1) dengan Variasi <i>Liquid height level Surge tank</i> saat detik ke-0 sampai detik ke-1.....	49
Gambar 4.4	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P13 Inlet (<i>Discharge</i> pompa 2) dengan Variasi <i>Liquid height level Surge tank</i>	50
Gambar 4.5	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P23 Inlet (<i>Discharge Forwarding Pump</i>) dengan Variasi <i>Liquid height level Surge tank</i>	51

Gambar 4.6	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet (<i>Discharge</i> pompa 1) dengan Variasi Volume <i>Gas Accumulator</i>	53
Gambar 4.7	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet (<i>Discharge</i> pompa 2) dengan Variasi Volume <i>Gas Accumulator</i>	54
Gambar 4.8	Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P23 Inlet (<i>Discharge Forwarding Pump</i>) dengan Variasi Volume <i>Gas Accumulator</i> ..	55
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet (<i>Discharge</i> Pompa 1) dengan Variasi <i>Liquid height level</i> pada <i>Surge tank</i> vs Volume <i>Gas Accumulator</i>	57
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P13 Inlet (<i>Discharge</i> Pompa 2) dengan Variasi <i>Liquid height level</i> pada <i>Surge tank</i> vs Volume <i>Gas Accumulator</i>	58

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Karakteristik Untuk Fluida Air Pada Suhu 30 ⁰ C.....	33
Tabel 3.2	Spesifikasi Pompa Produksi di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya.....	34
Tabel 3.3	Spesifikasi Elektro Motor Penggerak Pompa di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya.....	35
Tabel 3.4	Spesifikasi <i>Surge Tank</i> di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya.....	36
Tabel 3.5	Variasi Liquid Height Level Pada <i>Surge tank</i> di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya.....	37
Tabel 3.6	Variasi Volume pada <i>Gas Accumulator</i> di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya.....	37
Tabel 3.7	Detail Titik Analisa Pada Simulasi Dengan Skenario 1 Pompa <i>ON</i> & 1 Pompa <i>OFF</i> dengan proteksi <i>Surge tank</i>	42
Tabel 3.8	Detail Titik Analisa Pada Simulasi Dengan Skenario 1 Pompa <i>ON</i> & 1 Pompa <i>OFF</i> dengan proteksi <i>Gas Accumulator</i>	43

Halaman sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pada dunia industri, peran sistem jaringan perpipaan sangatlah penting sebagai penunjang sistem produksi maupun sistem distribusi. Perencanaan awal dari sebuah instalasi menjadi hal utama yang perlu diperhatikan secara khusus karena jika saat perencanaan tidak dilakukan dengan baik, maka sistem tidak dapat berkerja dengan baik bahkan tidak dapat bekerja total. Perlu data-data yang detail pada komponen yang akan dibangun baik itu spesifikasi dari pompa, pipa, bahkan proteksi yang digunakan, sehingga sistem dapat bekerja dengan baik. Salah satu fenomena membahayakan yang terjadi pada sistem perpipaan, yaitu fenomena *water hammer*.

Water hammer merupakan fenomena terjadinya fluktuasi tekanan yang timbul akibat peningkatan dan penurunan kecepatan aliran dalam perpipaan yang terjadi tiba-tiba. Hal ini diakibatkan oleh padamnya listrik, penutupan *valve* secara cepat ataupun terjadi kegagalan operasi pada pompa. Fenomena ini mempunyai dampak negatif untuk sistem perpipaan dengan selang waktu tertentu dan dampak yang ditimbulkan terjadi seketika itu juga. Penanganan yang tidak tepat terhadap dampak tersebut dapat mengakibatkan terjadinya fluktuasi tekanan sehingga rusaknya beberapa komponen dapat terjadi, terutama jika pipa utama mengalami kegagalan operasi dimana mengakibatkan seluruh peralatan harus dimatikan.

Penanganan yang cepat menjadi alasan utama untuk mengatasi *water hammer*, yaitu menggunakan proteksi *water hammer*. Proteksi *water hammer* yang dimaksud yaitu berfungsi untuk meredam atau mereduksi, tidak menghilangkan seluruh efek dari *water hammer*. Ada 3 jenis proteksi *water hammer* yang sering digunakan diantaranya *flywheel*, *surge tank* dan *gas accumulato*. Fenomena *water hammer* ini sering terjadi di daerah discharge pompa pada saat pompa mengalami kegagalan operasi sehingga proteksi dipasang pada bagian discharge pompa. Contoh : pada sistem distribusi air bersih, air yang didistribusikan menuju

reservoir. Hal ini membutuhkan pompa yang mampu memenuhi pasokan air yang dibutuhkan tetapi harus juga mempertimbangkan dampak-dampak yang terjadi akibat kegagalan pompa, sehingga perlunya proteksi dari hal tersebut, yaitu pemasangan proteksi akibat fenomena *water hammer*.

Rumah pompa unit Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karang Pilang milik PT PDAM Surya Sembada Surabaya, adalah salah satu unit yang bergerak dalam sektor produksi dan juga distribusi air bersih untuk daerah Surabaya dan sekitarnya. Unit IPAM Karang Pilang ini memiliki 3 rumah pompa (*forwarding*) yang memiliki instalasi perpipaan yang berbeda dengan sistem proteksi *water hammer* yang berbeda pula. Untuk rumah pompa IPAM Karang Pilang 1 dan 3 menggunakan alat proteksi *water hammer*, yaitu berupa *surge tank* sedangkan untuk rumah pompa unit IPAM Karang Pilang 2 yang menggunakan *flywheel*. Setiap proteksi terletak pada daerah discharge pompa.

Penelitian digunakan untuk melihat pengaruh menggunakan *surge tank* dan *gas accumulator* tipe AS yang diproduksi oleh perusahaan *epool* di Italia terhadap perubahan tekanan akibat fenomena *water hammer* yang terjadi pada instalasi perpipaan di unit rumah pompa IPAM Karang Pilang 3 ini yang sebelumnya belum pernah dilakukan. Hal tersebut sebagai latar belakang dialakukannya penelitian Tugas Akhir ini yang berjudul “Evaluasi Unjuk Kerja Sistem Proteksi *Water hammer* (*Surge Tank* dan *Gas Accumulator* tipe AS) Pada Sistem Perpipaan (Studi Kasus di Rumah Pompa Produksi Unit Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya)”.

I.2 Perumusan Masalah

Water hammer merupakan fenomena terjadinya fluktuasi tekanan yang timbul akibat peningkatan dan penurunan kecepatan aliran dalam perpipaan yang terjadi tiba-tiba. Hal ini diakibatkan oleh padamnya listrik, penutupan *valve* secara cepat ataupun terjadi kegagalan operasi pada pompa itu sendiri. Hal ini menyebabkan terjadinya dampak yang buruk bagi sistem perpipaan bahkan dapat merusak komponen penyusun sistem

perpipaan tersebut. Oleh karena itu diperlukan pola operasi dan instalasi yang tepat untuk menghindari terjadinya *water hammer*.

Penelitian ini dimodelkan pada salah satu pompa yang tiba-tiba mengalami kegagalan dengan alat proteksi *surge tank* dan *gas accumulator*. Pemilihan alat proteksi *water hammer* akan mempengaruhi ketahanan sistem terhadap dampak *water hammer* yang timbul. Penggunaan *surge tank* dan *gas accumulator* pada daerah discharge rumah pompa akan mempengaruhi ketahanan komponen perpipaan dalam melawan lonjakan tekanan yang terjadi akibat efek *water hammer* ketika pompa gagal beroperasi. Volume dari *gas accumulator* dan ketinggian fluida pada *surge tank* sangat berpengaruh dalam meredam lonjakan tekanan yang terjadi. Sehingga aliran balik yang menuju pompa dapat diredam serta dampak *water hammer* dapat direduksi. Perbedaan ketinggian fluida pada *surge tank* dan perbedaan volume *gas accumulator* menjadi acuan pada penelitian ini.

Efek *water hammer* sangat sulit diperkirakan karena terjadi secara cepat bahkan seper-sekian detik, sehingga tanpa pengetahuan akan data-data dan juga perhitungan yang rinci, sulit menyatakan apakah efek *water hammer* ini membahayakan untuk sistem atau tidak. Maka dari itu untuk mempermudah dalam memperoleh data mengenai fenomena *water hammer* pada penelitian ini nantinya akan dilakukan pemodelan dengan menggunakan *software* AFT Impulse 4.0. Pemodelan kali ini dilakukan sebagai tindak lanjut untuk mempelajari fenomena *water hammer* yang terjadi pada instalasi perpipaan dan juga melihat peran penggunaan alat proteksi baik itu *surge tank* maupun *gas accumulator* tipe AS dalam melawan aliran balik akibat kegagalan pompa beroperasi serta pengaruhnya terhadap komponen perpipaan lainnya.

I.3 Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan untuk memperoleh hasil permodelan yang tepat, batasan yang digunakan antara lain:

1. Fluida kerja yang digunakan adalah air
2. Tidak terjadi perubahan temperatur selama air mengalir pada sistem perpipaan.

3. Analisa dilakukan pada saat kondisi aliran *transient*.
4. *Head* aliran pada *reservoir* konstan.
5. Pengamatan hanya difokuskan untuk mengetahui fenomena *water hammer* dan penggunaan proteksi sebagai penanggulangan *water hammer*.
6. Jarak *gas accumulator* terhadap pompa konstan.
7. Perubahan momentum aliran terjadi hanya karena variasi pompa sedang beroperasi atau tidak beroperasi.
8. Kesimpulan yang didapat hanya digunakan untuk studi kasus khusus di perpipaan rumah pompa unit IPAM Karang Pilang 3

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pemodelan ini adalah:

1. Mempelajari lonjakan tekanan yang terjadi pada discharge pompa yang mengalami trip secara tiba-tiba.
2. Mempelajari fluktuasi tekanan pada sistem perpipaan menggunakan *surge tank* dan *gas accumulator* tipe AS
3. Mempelajari fluktuasi tekanan pada sistem perpipaan dengan menggunakan variasi liquid height level *surge tank*, yaitu 1 meter, 3 meter dan 5 meter.
4. Mempelajari fluktuasi tekanan pada sistem perpipaan dengan menggunakan variasi volume *gas accumulator*, yaitu 25 liter, 35 liter dan 55 liter.
5. Mempelajari perbandingan fluktuasi lonjakan tekanan *surge tank* antara *gas accumulator*.

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari pelaksanaan kajian ini antara lain:

1. Memahami karakteristik *surge tank* dan *gas accumulator* dalam sistem perpipaan.
2. Mencegah kerusakan pada sistem perpipaan yang ditimbulkan oleh fenomena *water hammer*.

I.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan proposal tugas akhir ini terbagi menjadi beberapa bab yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang permasalahan, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori yang mendukung penelitian secara umum, sistem instalasi perpipaan yang diteliti, dasar teori *water hammer*, fenomena *water hammer*, penyebab dan pencegahan *water hammer*, *software* AFT Impulse 4.0, metode karakteristik, sistem proteksi *water hammer* yang digunakan serta kajian-kajian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini.

BAB III METODOLOGI

Bab ini terdiri atas penjelasan tentang prosedur analisa dan data-data yang diperoleh dari rumah pompa unit IPAM Karang Pilang 3 – PT PDAM Surya Sembada Surabaya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang data instalasi jaringan perpipaan, analisa sistem pada kondisi *steady*, data grafik hasil simulasi untuk setiap skema pemodelan dan skenario operasi pompa serta perhitungan tebal pipa yang direkomendasikan untuk sistem perpipaan dalam menahan tekanan maksimum akibat efek *water hammer*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dari hasil analisa serta saran yang perlu diberikan dari hasil perhitungan dan pemodelan yang telah dilakukan.

Halaman sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Mekanika Fluida

Mekanika Fluida adalah cabang dari ilmu yang mempelajari mengenai zat fluida (cairan dan gas) bergerak atau diam serta gaya akibat yang ditimbulkan oleh fluida tersebut pada batasnya. Mekanika fluida dapat dibagi menjadi fluida statis dan fluida dinamik. Fluida statis mempelajari fluida pada keadaan diam sementara fluida dinamis mempelajari fluida yang bergerak dan interaksi fluida dengan padatan atau fluida lain pada permukaan batasnya. Sedangkan fluida sendiri merupakan zat yang akan mengalami deformasi secara terus menerus (*continue*) jika diberikan tegangan geser (tangensial) seberapa kecil tegangan geser tersebut. Batas tersebut dapat berupa permukaan padat atau fluida lainnya.

Pembahasan tentang fluida yang bergerak yaitu dengan mengembangkan persamaan-persamaan dasar untuk menerapkan teori analisis berdasarkan volume alir. Analisis didasarkan pada volume alir, karena: Pertama, fluida sebagai media dapat mengalami distorsi dan deformasi secara terus menerus dan oleh karenanya sangat sulit sekali untuk mengidentifikasi suatu massa yang sama di setiap saat. Kedua, lebih sering berurusan dengan pengaruh dari gerakan fluida secara menyeluruh terhadap suatu peralatan maupun terhadap bangunan konstruksi tertentu.

Fluida memiliki sifat mengikuti perubahan bentuk wadah serta kemampuannya untuk mengalir menuju suatu tempat. Sifat ini dikarenakan salah satu dari sifat ketidakmampuan fluida melawan tegangan geser (*shear stress*). Misalnya pada suatu instalasi perpipaan, fluida tidak dapat bergerak kemanapun kecuali mengikuti instalasi perpipaan itu sendiri. Tetapi fluida juga dapat mengalami kelonjakan tekanan akibat kecepatan aliran yang tidak konstan dimana hal ini disebut fenomena *water hammer*

II.2 Sifat-Sifat Fluida

II.2.1 Densitas

Densitas (ρ) didefinisikan sebagai kerapatan suatu zat yang dinyatakan banyaknya zat (massa) per satuan volume. Properti ini tergantung pada tekanan (P) dan temperatur (T). Densitas dapat dinyatakan dalam tiga bentuk, yaitu:

1) *Densitas Massa*

Merupakan perbandingan jumlah massa dengan jumlah volume. Densitas massa dapat dirumuskan dalam bentuk persamaan :

$$\rho = \frac{m}{V} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana: m = massa (kg)

V = volume (m^3)

ρ = massa jenis (kg/m^3)

Harga standarnya pada tekanan $p = 1,01325 \times 10^5$ N/ m^2 dengan temperatur 288,15 K sehingga densitas udara 1,23 kg/m^3 dan untuk air adalah 1000 kg/m^3 .

2) *Berat Spesifik (Specific Weight)*

Berat spesifik ini didefinisikan sebagai perkalian antara rapat/densitas massa dan gravitasi dari suatu substansi yang dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\gamma = \rho \cdot g \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana: γ = berat spesifik (N/ m^3)

Untuk ($\gamma_{\text{udara}} = 12,07$ N/ m^3) dan ($\gamma_{\text{air}} = 9,81 \times 10^3$ N/ m^3).

3) *Densitas Relatif (Specific Gravity)*

Densitas relatif disebut juga *specific gravity* (SG) yaitu perbandingan antara berat spesifik suatu zat dengan berat spesifik air. biasanya yang dijadikan acuan adalah

kerapatan air pada suhu 4 derajat celcius. Karena kerapatan semua zat cair bergantung pada temperatur serta tekanan, maka temperatur zat cair yang dipertanyakan, serta temperatur air dijadikan acuan, harus dinyatakan untuk mendapatkan harga-harga gravitasi yang tepat.

$$SG = \frac{\gamma_{zat}}{\gamma_{air}} \dots \dots \dots (2.3)$$

II.2.2 Viskositas

Viskositas adalah ukuran ketahanan fluida terhadap deformasi, sedangkan viskositas sendiri disebabkan oleh gesekan molekuler antara partikel-partikel fluida. Gesekan ini berhubungan dengan fluks momentum karena *gradient* kecepatan. Untuk fluida *incompressible*, properti ini bergantung pada temperatur. Seluruh fluida memiliki ketahanan dari tekanan dan oleh karena itu disebut kental, tetapi fluida yang tidak memiliki ketahanan tekanan dan tegangan disebut fluida ideal. Viskositas dinyatakan dalam dua bentuk yaitu:

1) Viskositas Dinamis (μ)

Merupakan perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besarnya viskositas air bervariasi dan dipengaruhi oleh temperatur. Pada kondisi standar (temperatur kamar 26,5°C) besar viskositas dinamik adalah $\mu_{air} = 8,6 \times 10^{-4} \text{ N s/m}^2$ dan $\mu_{udara} = 1,7894 \times 10^{-5} \text{ N s/m}^2$

2) Viskositas Kinematik (ν)

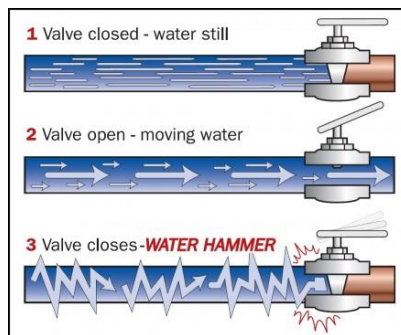
Merupakan perbandingan viskositas dinamik (μ) terhadap kerapatan/density (ρ) :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \dots \dots \dots (2.4)$$

Viskositas kinematik muncul dalam banyak terapan, misalnya dalam bilangan *reynold* yang tanpa dimensi. Untuk ν_{air} pada temperatur 26,5°C ialah $8,6 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ dan $\nu_{udara} 1,4607 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

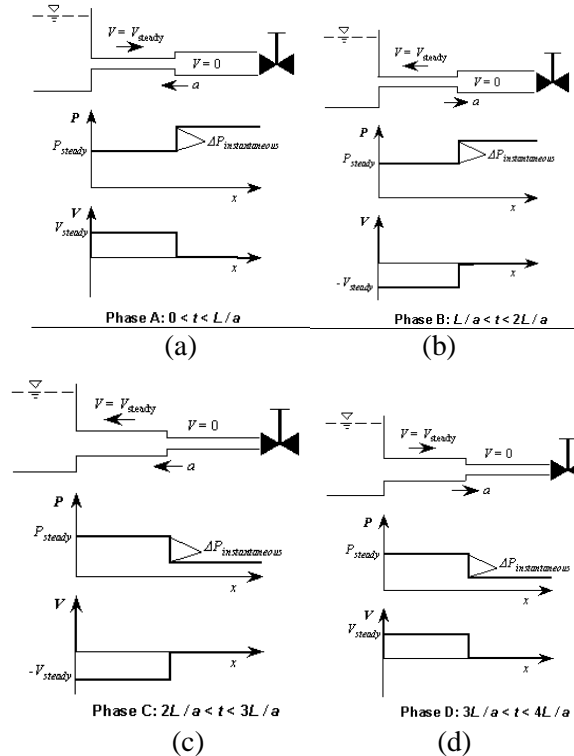
II.3 *Water hammer*

Water hammer adalah fenomena terjadinya fluktuasi tekanan yang timbul akibat peningkatan dan penurunan kecepatan aliran dalam perpipaan secara tiba-tiba. Hal ini diakibatkan oleh padamnya listrik, penutupan *valve* secara cepat ataupun terjadi kegagalan operasi pada pompa itu sendiri. Fenomena *water hammer* terjadi ketika gelombang tekanan berbalik arah menuju pompa distribusi. Gelombang bertekanan tersebut menghantam *valve* yang melindungi pompa distribusi sehingga terjadi lonjakan tekanan pada daerah discharge pompa. Kemudian gelombang bertekanan kembali maju dan menghantam gelombang bertekanan yang bergerak mundur tadi, hal ini merupakan lonjakan tekanan paling parah yang terjadi. Lonjakan tekanan terjadi bolak-balik sampai energi gelombang bertekanan habis dan hilang. Ketika pompa distribusi tidak dilindungi oleh *valve*, maka gelombang bertekanan akan menghantam impeller pompa sehingga arah dari putaran terbalik dan menyebabkan pompa terbakar. Fenomena terjadinya *water hammer* secara umum ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 2.1 Fenomena Terjadinya *Water hammer*

II.3.1 Fenomena *Water hammer*



Gambar2.2 Skema Fenomena *Water hammer* Setelah Penutupan Valve Pada (a) $0 \leq t \leq L/a$, (b) $L/a \leq t \leq 2L/a$, (c) $2L/a \leq t \leq 3L/a$, dan (d) $3L/a \leq t \leq 4L/a$

Gambar di atas menunjukkan bagaimana fenomena *water hammer* itu terjadi ketika *valve* mengalami penutupan secara tiba-tiba. Dimulai dari gambar (a) merupakan penutupan *valve* terjadi secara tiba-tiba pada ujung pipa yang berasal dari *reservoir* dalam waktu $t = 0$ mengakibatkan fluida yang terdekat dengan ujung ini terkompresi, pada waktu yang bersamaan dimana pergerakannya menurun tajam mendekati nol dengan kondisi dinding pipa mengalami ekspansi. Segmen fluida terus-menerus terkompresi

karena liquid di bagian hulu terus bergerak tanpa terpengaruh kecepatannya sampai liquid tersebut terkena efek kompresi. Tekanan tinggi yang dihasilkan bergerak naik (ke bagian hulu) seperti gelombang, menghentikan aliran fluida hingga berhenti dan mengkompresikannya serta mengembangkan dinding pipa.

Ketidakseimbangan dalam *upstream* ujung pipa terjadi ketika gelombang tekanan tiba. fluida yang diisikan ke dalam pipa yang mengembang mulai mengalir dengan kecepatan mendekati kecepatan fluida yang mempunyai nilai yang sama sebelum penutupan *valve*, dinding pipa kembali ke dimensi awalnya dan fluida memperoleh kecepatan V_0 dengan arah berlawanan (sekarang dari *valve* menuju penampung). Proses ini dihasilkan pada kecepatan suara pada waktu a detik melewati pipa. Sesaat $2L/a$ detik, gelombang telah mencapai *valve* dan tekanan pada sepanjang pipa telah kembali kepada harga normalnya, menjadi kecepatan liquid di dalam sepanjang pipa sama dengan V_0 dan menuju tempat penampungan.

Kondisi *valve* ditutup penuh mengakibatkan tidak ada fluida yang mempertahankan gelombang yang melewatinya dan kemudian terjadi tekanan negatif ($-H$), sehingga fluida diperlambat kembali sampai diam. Gelombang tekanan rendah ini mengalir ke *upstream* dengan kecepatan tertentu membuat fluida mengalami perlambatan hingga kesetimbangan dan secara simultan diekspresikan sampai tekanan rendah sehingga memicu terjadinya kompresi pada dinding pipa. Proses pada saat $3L/a$ detik menghasilkan gelombang tekanan negatif sampai pada ujung hulu pipa, fluida dalam pipa diam tetapi *uniform* pada beban yang lebih kecil yang salah satunya belum tertutup. Ketidaksetimbangan di dalam deposit menyebabkan fluida mulai bergerak dan deposit ke pipa dan memperoleh kecepatan V_0 dengan arah ke *valve*. Kondisi seluruh sistem kembali sama dengan ketika kita menutup *valve* dan deskripsi proses diulangi secara periodik dengan periode $4L/a$ detik.

II.3.2 Penyebab *Water hammer*

Pada sistem transportasi air hampir tidak pernah dalam kondisi *steady*. Tekanan dan arus aliran yang berubah-ubah sebagai akibat dari perubahan permintaan air, pemadaman listrik, kerusakan peralatan dan lain- lain. Perubahan kecepatan aliran tersebut dapat lebih tinggi maupun lebih rendah dari kecepatan aliran mula-mula. Perubahan kecepatan aliran air yang sangat cepat dapat menimbulkan energi tekanan yang besar atau biasa disebut *water hammer*.

Penyebab *water hammer* sangat banyak, namun secara umum ada 4 (empat) penyebab terjadinya *water hammer* yaitu:

1. Pengoperasian pompa.

Pengoperasian pompa dapat mengakibatkan peningkatan tekanan secara mendadak dan akhirnya menyebabkan fenomena *water hammer*.

2. Kegagalan pompa beroperasi.

Kegagalan pompa beroperasi bisa disebabkan banyak hal, salah satunya adalah pemadaman listrik, rusaknya pompa dan lain-lain. Kegagalan pompa dapat menyebabkan turunnya tekanan di daerah *discharge* pompa, penurunan tekanan tersebut diikuti dengan fluktuasi tekanan yang berosilasi sehingga mengakibatkan fenomena *water hammer*.

3. Penutupan dan pembukaan *valve*.

Penutupan dan pembukaan *valve* dapat merubah kecepatan aliran fluida dalam pipa dan perubahan kecepatan tersebut dapat lebih tinggi maupun lebih rendah dari kecepatan awal fluida. Perubahan kecepatan aliran tersebut akan menyebabkan *water hammer*.

4. Pengoperasian yang tidak benar.

Pengoperasian sistem perpipaan yang tidak benar mengakibatkan perubahan tekanan mendadak yang menimbulkan *water hammer*.

II.3.3 Pencegahan *Water hammer*

Berikut ini adalah beberapa alat yang sering digunakan untuk mencegah terjadinya fenomena *water hammer* pada sistem perpipaan.

1. *Check Valve*.
Water hammer sering merusak pompa sentrifugal ketika terjadi pemadaman listrik. Cara terbaik mencegah *water hammer* pada situasi ini adalah penambahan *check valve* di *discharge* pompa. *Valve* tersebut akan menutup secara perlahan-lahan. Penutupan *valve* secara perlahan-lahan ini akan mengurangi peningkatan tekanan secara mendadak. *Check valve* berguna untuk mencegah kerusakan pompa dari *water hammer*.
2. *Relief Valve*.
Relief valve berguna mengurangi fluktuasi *water hammer*. *Relief valve* dapat mengontrol perubahan tekanan dalam pipa. Bila tekanan meningkat melebihi batas tertentu maka *relief valve* terbuka, sebaliknya jika tekanan turun hingga dibawah batas tertentu maka *relief valve* menutup. *Relief valve* merupakan metode yang efektif mengontrol tekanan berlebih pada rumah pompa.
3. *Vacuum Breaker Valve*.
Vacuum Breaker Valve berguna untuk mengurangi fluktuasi *water hammer*. Jika tekanan turun hingga ke titik yang sangat rendah, maka diperlukan *vacuum breaker valve* untuk mengurangi penurunan tekanan. Ukuran *vacuum breaker valve* harus cukup besar untuk menampung udara agar tekanan dalam pipa tidak terlalu rendah.
4. *Variable Speed Device (VSD)*.
Variable Speed Device (VSD) berguna untuk mengurangi fluktuasi *water hammer*. Kecepatan pompa pada sistem perpipaan menggunakan *VSD* diatur berdasarkan tekanan *discharge* pompa sehingga mengurangi fluktuasi tekanan.
5. *Surge Vessel / Tank*

Surge vessel berguna mengurangi fluktuasi *water hammer*. *Surge vessel* adalah sebuah *tank/vessel* berbentuk seperti pipa yang sangat panjang yang salah satu ujungnya terhubung dengan udara luar dan ujung lainnya terhubung dengan pipa pada sistem perpipaan. Kelebihan tekanan pada perpipaan dibuang ke *surge vessel* sehingga tekanan berlebih pada pipa dapat dikurangi. *Surge vessel* juga dapat mengatasi tekanan positif maupun negatif.

6. *Gas accumulator*.

Gas accumulator berguna mengurangi fluktuasi *water hammer*. *Gas accumulator* adalah alat proteksi yang berfungsi mencegah terjadinya fluktuasi tekanan yang terjadi dalam sistem perpipaan akibat adanya aliran yang berhenti secara mendadak. *Gas accumulator* sendiri memiliki sistem kontrol sendiri untuk menjaga keseimbangan antara udara dan air. *Gas accumulator* memiliki pengaturan jumlah air dan udara yang harus ada di dalam tangki, ketika kondisi di dalam tangki kekurangan air maka *release valve* akan membuka sehingga air di dalam tangki akan naik, sedangkan apabila di dalam tangki kelebihan air maka udara yang sebelumnya dikompres di *receiver* diinjeksikan ke dalam tangki sehingga jumlah udara dan air di dalam tangki tetap terjaga.

7. *Flywheel*.

Flywheel merupakan sebuah roda atau beban yang dipasangkan pada poros penghubung antara pompa dengan motor penggerak dan berguna untuk meningkatkan momen inersia dari pompa, kemudian akan mengurangi lonjakan tekanan dan mencegah pemisahan kolom air ketika terjadi kegagalan pompa dalam pengoperasiannya. *Flywheel* bertujuan untuk memperlambat putaran poros yang terhubung dengan *impeller* pompa ketika pompa berhenti beroperasi sehingga putaran *impeller* pompa masih dapat melawan aliran balik akibat *water hammer* dan akan mencegah

putaran *impeller* pompa tersebut berbalik arah dan menyerupai fenomena turbin yang tentu akan merusak seluruh elemen motor penggerak.

II.4 Metode Karakteristik *Water hammer*

Fenomena *water hammer* terjadi ketika aliran dihentikan secara mendadak dan dirubah menjadi tekanan. Analisa *water hammer* dalam sistem perpipaan berdasarkan pada persamaan momentum dan kontinuitas. Penyelesaian persamaan yang tepat untuk kondisi *transient* pada sistem dengan kondisi batas yang kompleks adalah dengan menggunakan metode karakteristik. Metode karakteristik digunakan untuk menentukan hubungan antara langkah waktu dan langkah jarak. Persamaan momentum dan persamaan kontinuitas yang akan diselesaikan dengan bantuan metode karakteristik adalah sebagai berikut:

II.4.1 Kecepatan Perambatan Gelombang Tekanan

Fenomena *water hammer* terjadi ketika aliran dihentikan secara mendadak dan dirubah menjadi tekanan. Hubungan antara kecepatan dan perubahan tekanan dijelaskan dalam persamaan *Joukowsky*. Kecepatan perambatan gelombang tekanan di dalam pipa diformulasikan dari modulus bulk fluida dan modulus bulk elastisitas. Kecepatan perambatan gelombang tekanan dapat diformulasikan sebagai berikut.

$$a^2 = \frac{K/\rho}{1+c_1[(K/E)(D/e)]} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

- a = kecepatan gelombang fluida dalam pipa (m/sec)
- Δp = perubahan tekanan (N/m²)
- Δv = perubahan kecepatan (m/sec)
- K = modulus bulk fluida (N/m²)
- ρ = densitas fluida (kg/m³)
- D = diameter pipa (m)

- E = modulus elastisitas (N/m^2)
 e = ketebalan pipa (m)
 c_1 = faktor koreksi yang tergantung pada instalasi pipa.

II.5 Teori Pompa

Pemodelan pompa dapat dilakukan dengan melihat data perubahan pada kecepatan pompa ataupun data inersia dimana kecepatan pompa tersebut dikalkulasikan. Model pompa dengan kecepatan diketahui dan kurva pompa dapat dimodelkan secara kuadratik, maka:

$$\Delta H = a + bQ_{pump} + c Q_{pump}^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana nilai a , b dan c diperoleh dari kurva pompa yang sesuai dengan data vendor. Kurva itu mengasumsikan pompa beroperasi pada kecepatan 100%. Dan selama *transient*, kecepatan pompa akan berubah. Persamaan pompa diberikan sebagai berikut.

$$\frac{\Delta H}{a^2} = konstan1 \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\frac{Q}{a} = konstan2 \dots\dots\dots (2.7)$$

Persamaan kuadratik untuk *flow rate* pompa dapat ditentukan dengan formula kuadratik sebagai berikut.

$$Q_{pump} = \left(\frac{B_{p,up} + B_{M,down} - b\alpha}{2c} \right) \times \left[1 - \left(1 - \frac{4b(\alpha^2 a + C_{p,up} - C_{M,down})}{(B_{p,up} + B_{M,down} - b\alpha)^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \dots\dots (2.8)$$

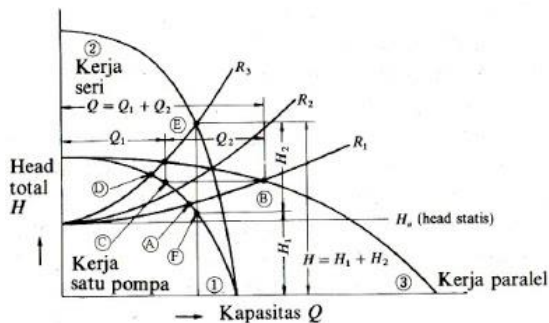
Dengan solusi *flow rate* pompa, tekanan pada hulu dan hilir pompa dapat ditentukan dari persamaan (2.11) dan (2.12). Ada empat model pompa pada program AFT Impulse yang dapat menjelaskan efek inersia pompa dan juga memprediksikan kecepatan pompa dari waktu ke waktu. Dua model memungkinkan adanya aliran balik sementara dua model lainnya hanya berkerja dengan aliran maju atau tidak ada aliran balik. Model-model pompa tersebut adalah:

- *Trip* dengan inersia dan tidak ada aliran balik.

- *Startup* dengan inersia dan tidak ada aliran balik.
- *Trip* dengan inersia – empat kuadran.
- *Startup* dengan inersia – empat kuadran, torsi/kecepatan motor diketahui.

• Pompa paralel

Susunan paralel dapat digunakan bila diperlukan kapasitas yang besar yang tidak dapat dihandle oleh satu pompa saja, atau bila diperlukan pompa cadangan yang akan dipergunakan bila pompa utama rusak/diperbaiki. Agar unjuk kerja pompa yang disusun seri/paralel optimal, maka sebaiknya digunakan pompa dengan karakteristik yang sama. Karakteristik pompa yang disusun seri/paralel dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.3 Operasi Tunggal, Seri Dan Paralel Dari Pompa-pompa Dengan Karakteristik Yang Sama

Gambar 2.3 menunjukkan kurva *head*-kapasitas dari pompa-pompa yang mempunyai karakteristik yang sama yang di pasang secara paralel atau seri. Dalam gambar ini kurva untuk pompa tunggal diberi tanda (1) dan untuk susunan seri yang terdiri dari dua buah pompa diberi tanda (2). Harga *head* kurva (2) diperoleh dari harga *head* kurva (1) dikalikan (2) untuk kapasitas (Q) yang sama. Kurva untuk susunan paralel yang terdiri dari dua buah pompa, diberi tanda (3). Harga kapasitas (Q) kurva (3) ini diperoleh dari

harga kapasitas pada kurva (1) dikalikan (2) untuk *head* yang sama.

Dalam gambar ditunjukkan tiga buah kurva *head pipe line*, yaitu R1, R2, dan R3. Kurva R3 menunjukkan tahanan yang lebih tinggi dibanding dengan R1 dan R2. Pengaruh tahanan yang tinggi itu sendiri merupakan efek kecepatan aliran pada sistem karena kapasitas yang menjadi lebih besar. Jika sistem mempunyai kurva *head pipe line* R3, maka titik kerja pompa 1 akan terletak di (D). Jika pompa ini disusun seri sehingga menghasilkan kurva (2) maka titik kerja akan pindah ke (E). Disini terlihat bahwa *head* titik (E) tidak sama dengan dua kali lipat *head* (D), karena ada perubahan (berupa kenaikan) kapasitas. Sekarang jika sistem mempunyai kurva *head pipe line* R1 yang relatif mendatar, maka titik kerja pompa (1) akan terletak di (A). Jika pompa ini disusun paralel sehingga menghasilkan kurva (3) maka titik kerjanya akan berpindah ke (B). Disini terlihat bahwa kapasitas dititik (B) tidak sama dengan dua kali lipat kapasitas dititik (A), karena ada perubahan (kenaikan) *head* sistem. Banyak cara untuk mendapatkan kurva *head*-kapasitas yang lebih mendatar lagi sehingga didapatkan kapasitas yang lebih besar bahkan mendekati dua kali lipat kapasitas dari satu pompa, yakni seperti perubahan ukuran pipa atau pengaturan bukaan pada katup.

Jika sistem mempunyai kurva karakteristik seperti R2 maka laju aliran akan sama untuk susunan seri maupun paralel. Namun jika karakteristik sistem adalah seperti R1 dan R3 maka akan diperlukan pompa dalam susunan paralel atau seri. Susunan paralel untuk laju aliran besar, dan susunan seri untuk *head* yang tinggi pada operasi. Untuk susunan seri, karena pompa kedua menghisap zat cair bertekanan dari pertama, maka perlu perhatian khusus dalam hal kekuatan konstruksi dan kerapatan terhadap kebocoran dari rumah pompa.

II.6 Trip dengan Inersia dan Tidak Ada Aliran Balik

Ketika tidak ada aliran balik melewati pompa, data kurva pompa untuk debit aliran terhadap *head* dapat digunakan untuk pemodelan pada respon pompa. Data untuk daya pompa juga dibutuhkan sebagai fungsi aliran.

$$\omega_{new} = \omega_{old} - \frac{T_{new} + T_{old}}{2} \times \frac{\Delta t}{I} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan:

T = torsi pompa (N.m)

I = momen inersia pompa dan fluida yang tertahan pada pompa (Kg.m²)

Ω = kecepatan sudut (rad/s).

II.7 Proteksi *Water hammer* di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

Proteksi atau perlindungan terhadap sistem perpipaan dari *water hammer* merupakan sesuatu yang perlu dilakukan untuk menjaga agar tidak terjadi kerusakan pada komponen penyusunnya. Sistem proteksi yang saat ini yang digunakan adalah *surge tank* pada instalasi pompa dengan ukuran yang telah ditentukan sesuai desain awal. Pada penelitian pertama ini dilakukan variasi jarak antara *surge tank* dan *forwarding* karena jarak awal terlalu jauh, yaitu 50 meter. Dan pada penelitian kedua dilakukan variasi volume *gas accumulator*. Sehingga dari variasi ini dapat dibandingkan efisien yang paling maksimal untuk mereduksi fenomena *water hammer*.

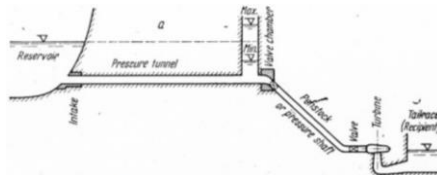
II.7.1 Teori *Surge Tank*

Surge tank (*reservoir* tambahan), yaitu alat proteksi yang berfungsi untuk mencegah terjadinya fluktuasi tekanan yang terjadi dalam sistem perpipaan akibat adanya aliran yang berhenti tiba-tiba. *Surge tank* digunakan untuk melindungi instalasi

perpipaan dari gelombang tekanan yang terjadi akibat aliran balik. Paling sering *surge tank* digunakan dalam pembangkit dengan ukuran pipa besar di aliran relatif tinggi, namun juga dapat diterapkan untuk berbagai sistem perpipaan lainnya, seperti pengolahan air untuk manufaktur, industri otomotif, pengolahan air limbah, bahkan pengolahan air bersih.

Fungsi *surge tank* :

- Mengurangi kenaikan tekanan akibat *water hammer*
- Memenuhi tambahan debit
- Menampung air saat beban tiba-tiba turun



Gambar 2.4 Skema Instalasi *Surge tank*

Pada gambar 2.4 merupakan skema instalasi *surge tank* yang digunakan di *hydro-electric power plant* (PLTA). Dalam desain ini letak *surge tank* jauh dari turbin serta untuk ketinggian antara *surge tank* dan *resevoir* sama. Untuk *surge tank* yang terbuka harus didesain lebih tinggi dari *reservoir* dan jika terjadi osilasi gelombang tekanan maka air akan tumpah (keluar) dari *surge tank*. *Surge tank* meredam gelombang tekanan yang terjadi akibat *restricting of flow*. Sebelum air masuk ke penstock, terlebih dahulu melalui *surge tank* yang berfungsi sebagai pengatur air dari perubahan tekanan karena elevasi *reservoir*, gelombang dan *water hammer*

II.7.2 Teori *Gas Accumulator*

Gas accumulator adalah alat proteksi yang berfungsi untuk mencegah terjadinya fluktuasi tekanan yang terjadi dalam sistem perpipaan akibat adanya aliran yang terhenti secara mendadak. Pada *gas accumulator* dilengkapi juga dengan

kompresor, yang berfungsi untuk menyuplai udara bertekanan ke dalam gas accumulator saat kondisi ekspansi.

Salah satu tipe dari gas *accumulator*, yaitu bladder *accumulator* dimana udara bertekanan berada di dalam bladder. Ketika tekanan naik, fluida (air) akan masuk ke dalam gas accumulator, sehingga bladder akan terkompresi (udara bertekanan dibuang ke atmosphere), kemudian tekanan akan turun seper-sekian detik sehingga bladder dalam kondisi ekspansi (mendorong air untuk keluar dari dalam gas accumulator). Proses kompresi dan ekspansi akan terjadi terus menerus hingga energi dari gelombang semakin mengecil dan hilang. Selain itu, *poppet valve* juga berfungsi untuk mereduksi gelombang tekanan fluida akibat water hammer karena memiliki *friction factor* (k) yang besar, sehingga gelombang tekanan tidak langsung menghantam bladder.

Proses kompresi dan ekspansi di dalam gas accumulator berlangsung sesuai hukum Boyle-Mariotte, yaitu

$$p_0 V_0^n = p_1 V_1^n = p_2 V_2^n \dots \dots \dots (2.10)$$

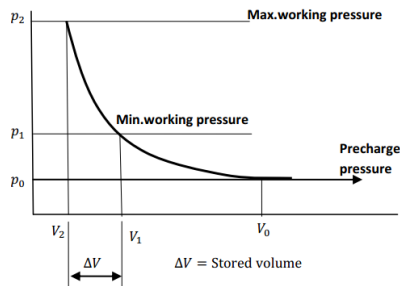
Keterangan:

p = tekanan gas accumulator (bar)

V = volume gas dalam gas accumulator (m^3)

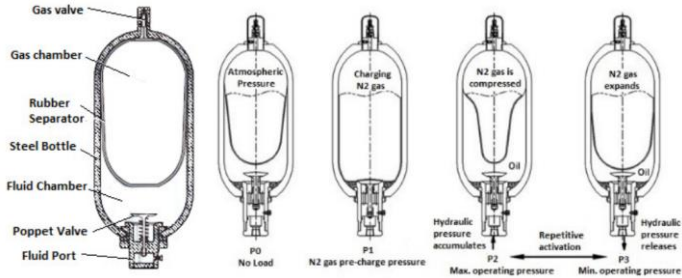
n = politropik eksponen.

Berikut merupakan diagram pV di dalam gas accumulator :



Gambar 2.5 Diagram pV di dalam gas accumulator

Berikut gambar 2.6 merupakan cara kerja dari gas accumulator mulai saat gas accumulator tidak ada beban hingga terjadinya proses kompresi dan ekspansi sampai energi berupa tekanan secara perlahan berkurang dan hilang.



Gambar 2.6 Bladder accumulator

Proses adiabatik adalah tidak adanya panas yang keluar masuk dalam sistem (*gas accumulator*). Koefisien n merupakan adiabatik eksponensial ($n=1,4$). Untuk menentukan kapasitas volume dan *overpressure* dari *gas accumulator* digunakan rumus yang mengacu pada perusahaan *epoll* di Italia, yaitu :

- Perhitungan Overpressure Δp_{max} pada *gas accumulator* :

$$\Delta p_{max} = \frac{2 \times \rho \times L \times v}{t \times 10^5} \dots \dots \dots (2.11)$$

- Perhitungan kapasitas volume *gas accumulator* V_0 :

$$V_0 = \frac{\frac{Q}{7,2} \left(\frac{2 \times \rho \times L \times v}{\Delta p \times 10^5} - t \right)}{\left(\frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{p_0}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}}} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

- V_0 = kapasitas *gas accumulator* (liter)

- Q = *Flow rate* pada pipa $\left(\frac{m^3}{h}\right)$
- L = panjang pipa (m)
- ρ = densitas fluida $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
- d = diameter dalam pipa (mm)
- t = *declearation time* (s) (*valve shut down, etc*)
- $S = \frac{\pi \times d^2}{4}$ = luasan pipa dalam (mm^2)
- $v = \frac{Q \times 1000}{S \times 3,6}$ = kecepatan aliran $\left(\frac{m}{s}\right)$
- p_1 = tekanan minimum (*abs. bar*)
- p_2 = tekanan maksimum (*abs. bar*)
- p_0 = tekanan efektif (*bar*)
- Δp = tekanan maksimum gas *accumulator* (*bar*)

II.8 Estimasi momen inersia *impeller* pompa dan motor penggerak

Perhitungan untuk estimasi momen inersia *impeller* pompa beserta air yang tertahan pada *casing* pompa adalah sebagai berikut.

$$I_p = 1,5(10^7) \left(\frac{P}{N^3}\right)^{0,9556} \dots\dots\dots (2.13)$$

Sedangkan perhitungan estimasi momen inersia untuk motor penggerak adalah sebagai berikut.

$$I_m = 118 \left(\frac{P}{N}\right)^{1,48} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

I_p = momen inersia pompa dan air pada *casing* pompa ($kg.m^2$)

I_m = momen inersia untuk motor penggerak ($kg.m^2$)

P = daya motor (kW)

N = putaran motor (rpm)

II.9 Perangkat Lunak AFT Impulse 4.0

AFT Impulse merupakan suatu program grafis untuk pemodelan *water hammer* dan *surge transient* pada instalasi perpipaan yang menghubungkan dari proses sederhana sampai proses yang kompleks untuk membuat model instalasi *water hammer*. Program ini akan menghitung tekanan *transient* pada sistem perpipaan dengan menggunakan iterasi dan metode matriks. Sedangkan metode karakteristik digunakan untuk memecahkan massa *transient* dan persamaan momentum pada aliran di dalam pipa.

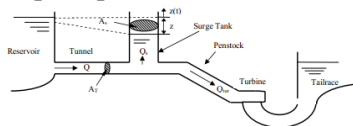
AFT Impulse juga sebagai salah satu pendekatan yang bisa dijadikan dasar penilaian terhadap interaksi antar komponen perpipaan yang ada, dengan demikian bisa dilakukan pencegahan untuk menghindari potensi dampak yang ditimbulkan oleh fenomena *water hammer* dan juga sistem *transient* yang tidak diinginkan lainnya.

II.10 Kajian terdahulu

II.10.1 Ramadan dan Mustafa (2013)

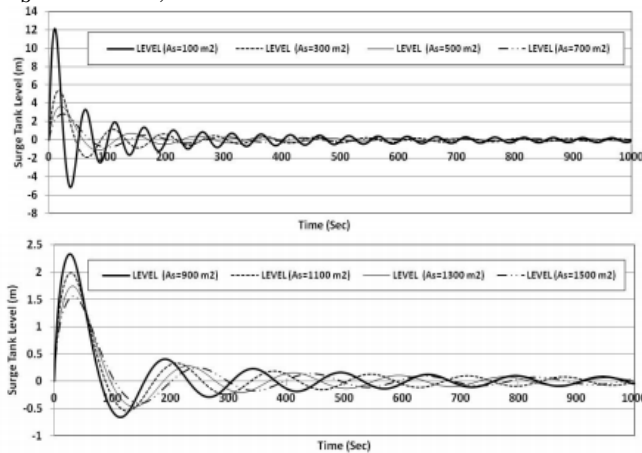
Ramadan dan Mustafa melakukan penelitian dengan judul “*Surge tank Design Considerations for Controlling Water hammer Effects at Hydro-electric Power Plants*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi *cross-sectional surge tank* sehingga ketinggian permukaan air berubah dan kapasitas pada total discharge.

FORTRAN 77 adalah program yang digunakan dalam penelitian ini sehingga didapatkan output yang cepat dengan variasi pemodelan yang sederhana. Kemudian akan di analisa menggunakan *excel* untuk mengetahui grafik dari output. Berikut skema (gambar 2.7) pada penelitian ini :



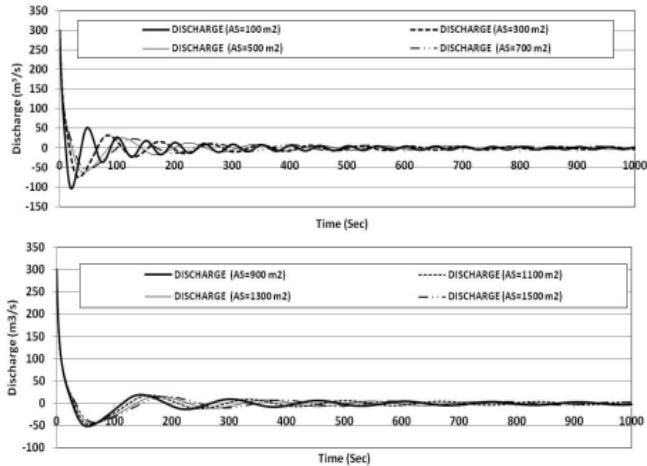
Gambar 2.7 Skema Dari Hydro-Electric Pembangkit dengan *Surge tank*

Pada gambar 2.8, data yang digunakan dalam desain penelitian ini, yaitu $Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}$, $L = 500 \text{ m}$, $\Delta t = 0,5 \text{ s}$. Dilakukan variasi *cross-sectional area* dari *surge tank* dengan volume air yang sama. Di dapatkan hasil untuk desain ini, *first upsurge* berkurang dari 12 meter pada $A_s = 100 \text{ m}^2$ ke 1,5 meter pada $A_s = 1500 \text{ m}^2$, berikut hasil dari simulasi :



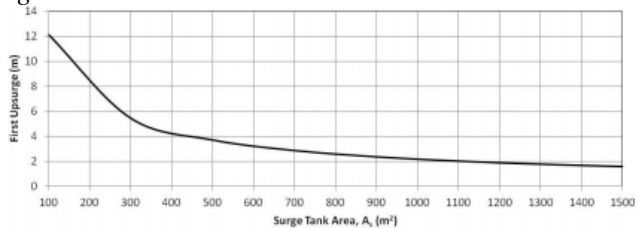
Gambar 2.8 Variasi *Surge tank Level* ($A_s=100,300,500,700,900,1100,1300$ Dan 1500 m^2) yang Berpengaruh Terhadap *First upsurge*

Pada gambar 2.9, data yang digunakan dalam desain penelitian ini, yaitu $Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}$, $L = 500 \text{ m}$, $\Delta t = 0,5 \text{ s}$. Dilakukan variasi *cross-sectional area* dari *surge tank* sehingga didapatkan hasil berupa berkurangnya osilasi *discharge rate* (efek transien). Terjadi fluktuasi antara $-100 \text{ m}^3/\text{s}$ sampai $+50 \text{ m}^3/\text{s}$ pada *cross-sectional area* dari *surge tank* area 100 m^2 dan fluktuasi antara $-50 \text{ m}^3/\text{s}$ sampai $+10 \text{ m}^3/\text{s}$ pada *cross-sectional area* *surge tank* area 1500 m^2 . Meningkatnya *cross-sectional area* *surge tank* berbanding lurus dengan menurunnya tingginya *discharge rate* dengan turunnya kecepatan pada kondisi transien.



Gambar 2.9 Variasi Surge tank Level ($A_s=100,300,500,700,900,1100,1300$ Dan 1500 m^2) yang Berpengaruh Terhadap Dicharge Rate (Q)

Pada gambar 2.10, *first upsurge* merupakan hal yang penting dalam hal ini. Meningkatnya *cross-sectional area* dari *surge tank* maka akan semakin kecil terjadi lonjakan gelombang (*upsurge*) pada *surge tank*. Untuk $AS = 500 \text{ m}^2$ terlihat *firs upsurge* yang kecil dan sebagai batas dari besarnya *cross-sectional area* dari *surge tank*. Berikut grafik antara *surge tank area* dan *first upsurge* :

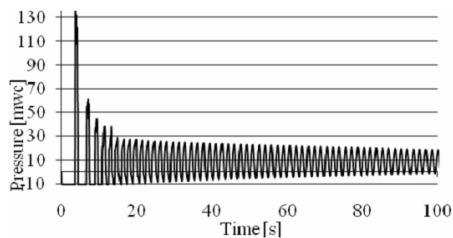


Grafik 2.10 Variasi Dari *First upsurge* Dengan *Cross-sectional Area* Dari *Surge tank*

II.10.2 Constantin dan Nitescu (2011)

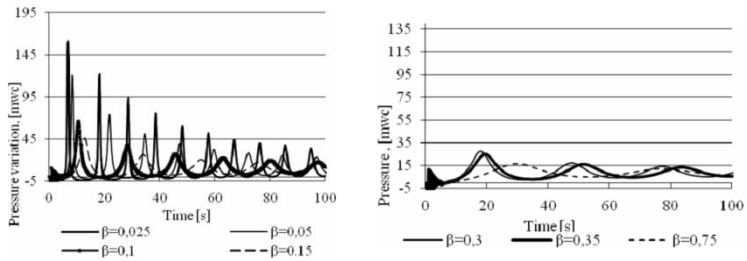
Untuk mengetahui fenomena *water hammer* yang terjadi dalam sistem perpipaan maka telah dilakukan penelitian-penelitian mengenai fenomena *water hammer*. Constantin dan Stefan mempelajari *water hammer* difokuskan pada sistem perpipaan yang menggunakan *gas accumulator*. Pada penelitian ini menggunakan parameter pada *gas accumulator* untuk mengurangi *water hammer* yaitu parameter rasio volume udara dengan volume *gas accumulator* (β). Simulasi pada penelitian ini menggunakan *gas accumulator* dengan rasio β divariasikan dari 0.75 sampai 0.025.

Dari simulasi sistem perpipaan pada gambar 2.11 dengan tidak menggunakan *water hammer* terlihat jelas fluktuasi tekanan yang terjadi berosilasi cukup tinggi dan rapat. Fluktuasi tersebut dapat merusak sistem perpipaan karena beban dinamis dan juga mengakibatkan vibrasi pada sistem perpipaan.



Gambar 2.11 Variasi Tekanan Pada Sistem Perpipaan Yang Tidak Menggunakan *Gas accumulator*

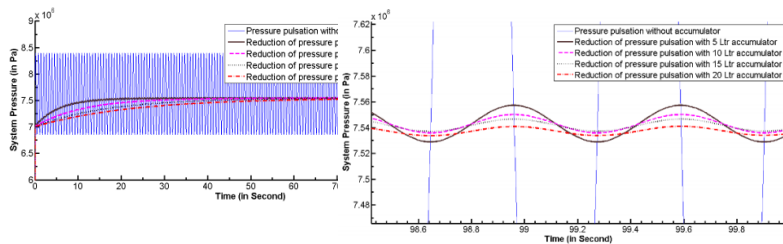
Pada simulasi menggunakan β antara 0.025 sampai dengan 0.75 (gambar 2.12) dapat disimpulkan bahwa rasio volume udara dengan volume *gas accumulator* terkecil yaitu dengan β sebesar 0.025 memiliki kemampuan mengurangi *water hammer* paling buruk, terlihat jelas kurva dengan $\beta = 0.025$ mengalami fluktuasi paling tinggi dan rapat. Pada β paling besar yaitu 0.75 memiliki kemampuan meredam *water hammer* paling baik karena fluktuasi tekanan cukup kecil dan renggang.



Gambar 2.12 Variasi β pada Sistem Perpipaan menggunakan Gas Accumulator

II.10.3 Barnwal, M.K., dkk. (2014)

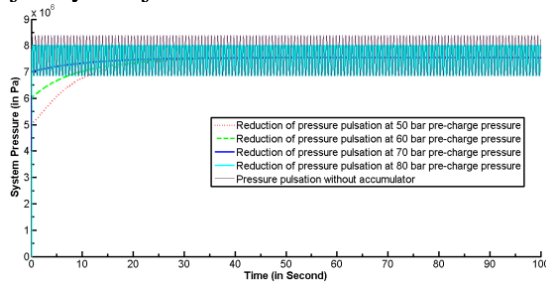
Penelitian ini menganalisa sistem hidrolik dengan atau tanpa *accumulator* menggunakan software MATLAB-SimHydraulics. Perubahan tekanan diamati dari perbedaan ukuran dari *accumulator* tipe bladder (bladder *accumulator*). Berikut hasil dari penelitian :



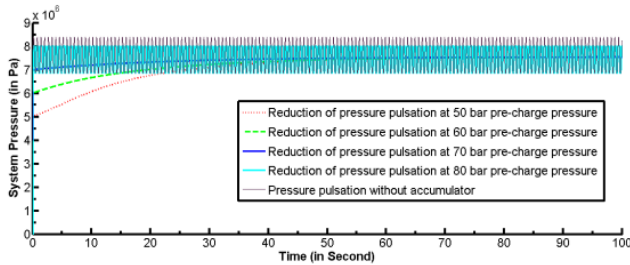
Gambar 2.13 Lonjakan tekanan dengan kapasitas accumulator yang berbeda dan tekanan pre-charge 70 bar

Pada gambar 2.13 menunjukkan bahwa perbedaan kapasitas *accumulator* dengan tekanan *pre-charge* yang sama, menyebabkan lonjakan tekanan yang berbeda. Semakin kecil kapasitas *accumulator*, maka semakin besar dan rapat pulsa tekanan yang terjadinya.. Hal ini menunjukkan bahwa dengan

kapasitas *accumulator* yang besar maka semakin baik untuk meredam terjadinya lonjakan tekanan.



Gambar 2.14 Lonjakan tekanan dengan kapasitas *accumulator* 10L dan tekanan *pre-charge* berbeda



Gambar 2.15 Lonjakan tekanan dengan kapasitas *accumulator* 20L dan tekanan *pre-charge* berbeda

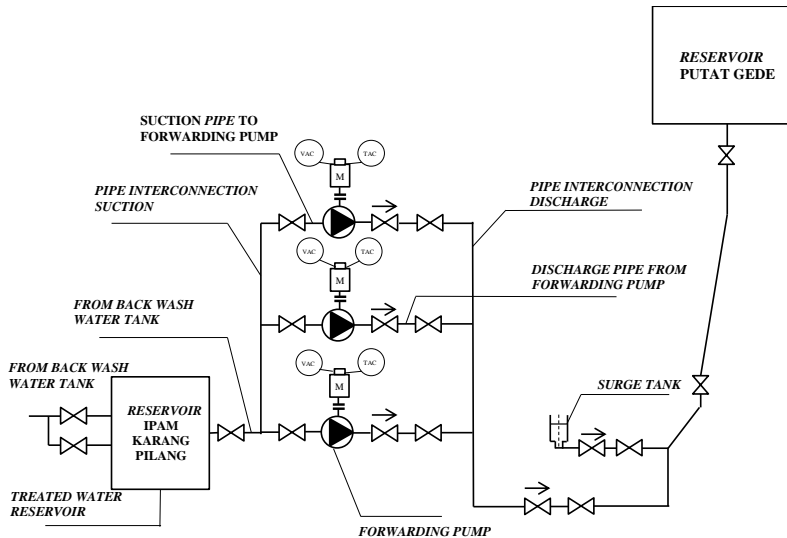
Jika dianalisa dari kapasitas yang sama dengan tekanan *pre-charge* yang berbeda (gambar 2.14 dan gambar 2.15). Tekanan *pre-charge* 70 bar merupakan tekanan yang paling stabil, akan tetapi hal ini tidak terjadi pada tekanan *pre-charge* 80 bar yang tidak semakin stabil meski tekanannya semakin besar. Hal ini dikarenakan kebutuhan sistem itu sendiri untuk stabil dimana untuk membuat suatu sistem *lifelong* dan ukuran maksimum *accumulator* harus seimbang dengan tekanan *pre-charge* optimum yang digunakan.

BAB III METODOLOGI

AFT Impulse 4.0 merupakan *software* yang digunakan dalam penelitian ini dengan berbasis metode komputasi. Kemudahan *software* yang memungkinkan melakukan variasi pemodelan yang rumit untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, biaya yang relatif murah dan tidak memerlukan tenaga yang besar serta hasil yang diperoleh lebih efisien sehingga menjadi pilihan utama mengapa menggunakan metode ini. Tetapi tentu ada kekurangan dari metode komputasi ini, yaitu tetap memerlukan tinjauan dan komparasi dari hasil eksperimen (*real*) agar hasil yang didapat *valid*.

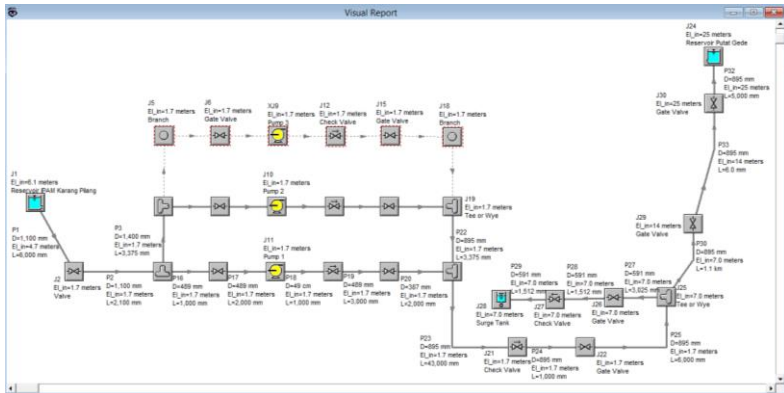
III.1 Proses Pemodelan Sistem Perpipaan

Penelitian ini mengacu pada instalasi perpipaan yang ada di rumah pompa IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya menuju ke daerah Putat Gede yang letak *reservoir*-nya jauh lebih tinggi dari pada *reservoir* di Karang Pilang. Pada gambar 3.2 merupakan skema pompa paralel beserta data-data terkait, seperti karakteristik pompa, spesifikasi pipa, spesifikasi junction, spesifikasi fluida dan spesifikasi alat proteksi *water hammer*.



Gambar 3.1 Skema instalasi perpipaan di rumah pompa Unit IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya distribusi Putat Gede

Dari gambar di atas dilakukan pembuatan pemodelan hingga menyerupai skema sebenarnya pada instalasi perpipaan di Unit IPAM Karang Pilang 3 untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Tetapi karena keterbatasan dari *software* maka dilakukan pemodelan yang lebih sederhana seperti di bawah ini :



Gambar 3.2 Model Sistem Perpipaan Di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya Dengan Software AFT Impulse 4.0

Gambar 3.3 merupakan pemodelan pada *software* sesuai dengan instalasi perpipaan di rumah pompa (*forwarding*) Unit IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya mulai dari *reservoir* air bersih di Karang Pilang hingga menuju *reservoir* di Putat Gede. Terdapat 3 buah pompa yang terpasang secara paralel, namun hanya 2 buah pompa saja yang beroperasi dan 1 buah pompa *standby*. Hal ini dimaksudkan agar apabila terjadi hal yang tidak diinginkan, seperti halnya 1 buah pompa tiba-tiba mengalami *trouble* dan harus *off* untuk sementara waktu, maka 1 buah pompa yang dalam keadaan *standby* menggantikan pompa tersebut untuk beroperasi. Berikut adalah data-data pada simulasi :

1. Fluida dalam pipa:

- Fluida : Air pada tekanan 1 atm
- Suhu : 30⁰ C
- Karakteristik Air :

Tabel 3.1 Karakteristik Untuk Fluida Air Pada Suhu 30⁰C

Densitas	995,77 kg/m³
Viskositas Dinamik	7,91 x 10⁻⁴ kg/sec-m

2. Spesifikasi Pipa:

Spesifikasi pipa yang digunakan pada pemodelan sistem perpipaan IPAM Karang Pilang 3 ini terlampir secara detail pada lampiran 1.

3. Spesifikasi *Reservoir & Junction*:

Data *reservoir* dan jenis sambungan perpipaan serta elevasinya terlampir pada lampiran 2.

4. Spesifikasi Pompa Produksi:

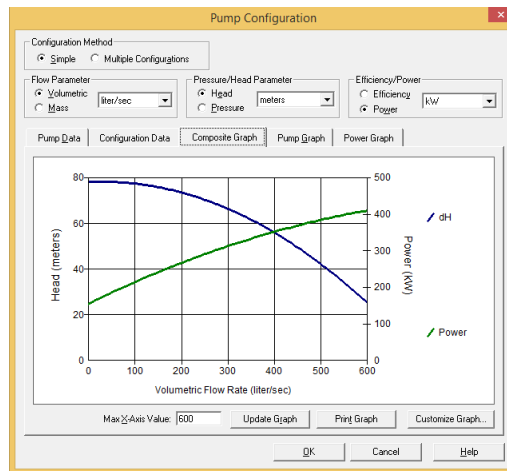
Pompa yang digunakan merupakan pompa sentrifugal (jenis pompa positive suction) dimana posisi pompa berada di bawah posisi *reservoir*. Terdapat 2 buah pompa yang dioperasikan dan didistribusikan menuju *reservoir* Putat Gede dan 1 buah pompa dalam keadaan *standby*. Berikut detailnya :

- Pompa 1 : memasok permintaan *flow rate* sebesar 400 liter/detik.
- Pompa 2 : memasok permintaan *flow rate* sebesar 400 liter/detik.
- Pompa 3 : pompa *standby*.

Dari karakteristik masing-masing pompa operasi, debit total yang menuju *reservoir* di Putat Gede, yaitu 800 liter/detik. Berikut adalah karakteristik pompa :

Tabel 3.2 Spesifikasi Pompa Produksi di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

Merk	Torishima
Tipe	CDMV 450x350 HN
Nomor seri	T0970087
Jenis	Sentrifugal
Kapasitas	400 liter /detik
Head	60 m



Gambar 3.3 Kurva Performa Pompa Sentrifugal Torishima CDMV 450x350

5. Spesifikasi Motor Penggerak Pompa Produksi:

Motor yang digunakan di rumah pompa unit IPAM Karang Pilang 3 merupakan elektro motor yang terhubung secara vertikal dengan masing masing pompa produksi. Berikut karakteristik motor penggerak pompa :

Tabel 3.3 Spesifikasi Elektro Motor Penggerak Pompa di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

Merk	Hyundai
Tipe	PPA 355L 110-6
Nomor seri	9G4C0401
Daya	200 KW
Voltase	380-660 Volt
Ampere	364,6 A
Putaran	990 rpm

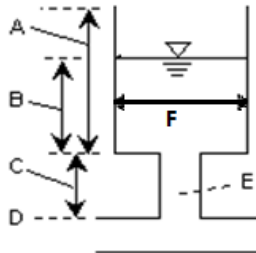
6. Spesifikasi Alat Proteksi *Water hammer*

1. Spesifikasi *Surge Tank*

Pada rumah pompa Unit IPAM Karang Pilang 3 menggunakan alat proteksi *water hammer* berupa *surge tank* yang diletakkan sejauh 50 meter dari rumah pompa. Spesifikasi dan skema *surge tank* yang digunakan Karang Pilang 3 ditunjukkan di bawah ini :

Tabel 3.4 Spesifikasi *Surge tank* di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

A	Tank Height	6742 mm
B	Liquid Height Level	-
C	Connector Pipe Elevation Change	640 mm
D	Elevation	7000 mm
E	Connector Pipe	500 mm
F	Diameter Tank	3000 mm



Gambar 3.4 Skema *Surge tank*

Pada kondisi aktual, *surge tank* di unit IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Sembada Surabaya berada pada jarak $L = 50$ meter dari forwarding dengan *tank cross-sectional area* 7068584 mm². Variasi *level* ketinggian fluida (air) dalam *surge tank* merupakan pilihan untuk penelitian ini. Agar ketinggian air tidak berfluktuasi (stabil) di dalam *surge tank* maka tekanan pada *discharge* pompa dan tekanan pada *surge tank* harus sama. Tetapi karena keterbatasan kemampuan dari *software*, tekanan maksimum yang dapat di-input terbatas.

Berikut variasi level ketinggian air yang di-input pada *software* :

Tabel 3.5 Variasi Liquid Height Level Pada *Surge tank* di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

Variasi	Liquid Height (meter)
Variasi 1	1
Variasi 2	3
Variasi 3	5

2. Spesifikasi *Bladder Accumulator*

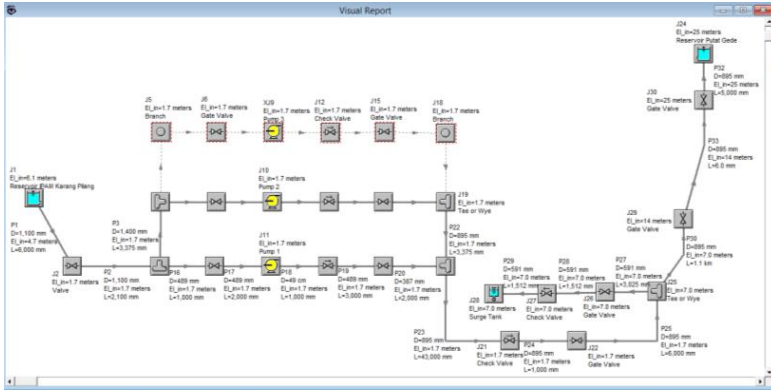
Pemodelan instalasi perpipaan ini dilakukan menggunakan *gas accumulator* dengan variasi volume tertentu yang dipasang pada jarak $L = 10$ meter dari *forwarding*. Menentukan *overpressure* yang diijinkan pada *baldder accumulator* dan volume *bladder accumulator* dengan cara perhitungan berdasarkan persamaan, sehingga perhitungan volume ini sebagai acuan untuk variasi volume *bladder accumulator* tipe AS. Berikut variasi volume *gas accumulator* :

Tabel 3.6 Variasi Volume pada *Gas Accumulator* di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

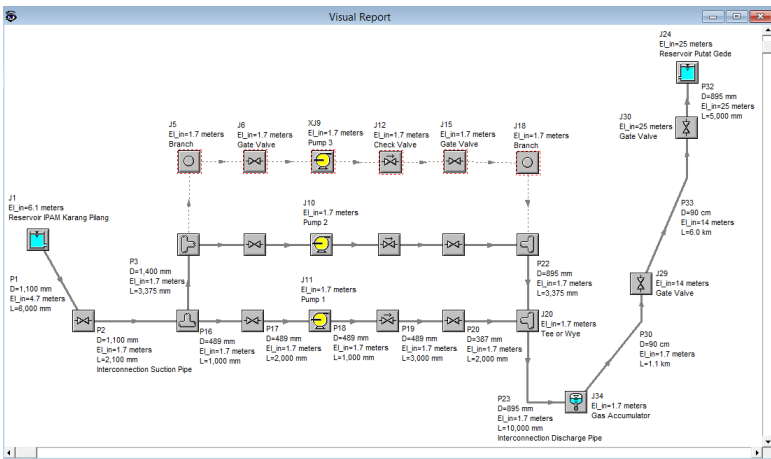
NO	<i>Gas accumulator</i>	Volume udara (liter)
1	<i>Gas accumulator 1</i>	25
2	<i>Gas accumulator 2</i>	35
3	<i>Gas accumulator 3</i>	55

III.2 Skema Pemodelan Sistem Perpipaan Pada Simulasi

Untuk melihat pengaruh serta karakteristik dari masing-masing alat proteksi *water hammer* yang digunakan, maka pada simulasi ini dilakukan dua skema pemodelan sistem perpipaan sebagai berikut.



Gambar 3.5 *Layout Pemodelan Instalasi Perpipaan Dengan Variasi Liquid Height Level Surge tank*



Gambar 3.6 *Layout Pemodelan Instalasi Perpipaan Dengan Variasi Volume pada Gas Accumulator*

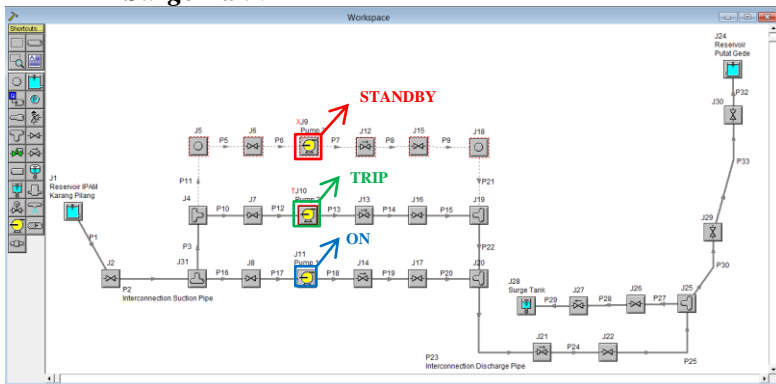
III.3 Skenario Operasi Pompa

Setiap pompa mampu mengalirkan fluida dengan debit 400 liter/detik. Pada skema operasi yang diterapkan di rumah pompa (*forwarding*) unit IPAM Karang Pilang 3 menuju Putat

Gede, hanya 2 pompa yang beroperasi (800 liter/detik). Pemodelan penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi sistem proteksi *water hammer* pada kondisi ekstrim, misalnya pompa mati tiba-tiba akibat aliran listrik bermasalah, kegagalan pompa ataupun karena jadwal perbaikan.

Pada pemodelan dua pompa yang beroperasi dilakukan dua skenario untuk melihat respon dari kegagalan operasi pompa karena pada kondisi aktual, tidak pernah terjadi kondisi ekstrim. Unit IPAM Karang Pilang 3 ini dapat dikatakan baru beroperasi dari pada unit yang lain. Dan pada masing-masing skenario dilakukan pemodelan berupa variasi jarak untuk *surge tank* dan variasi volume untuk *gas accumulator*.

III.3.1 Skenario 1 Pompa ON dan 1 Pompa OFF (Trip dengan Inersia tanpa Aliran Balik) dengan Proteksi Surge Tank



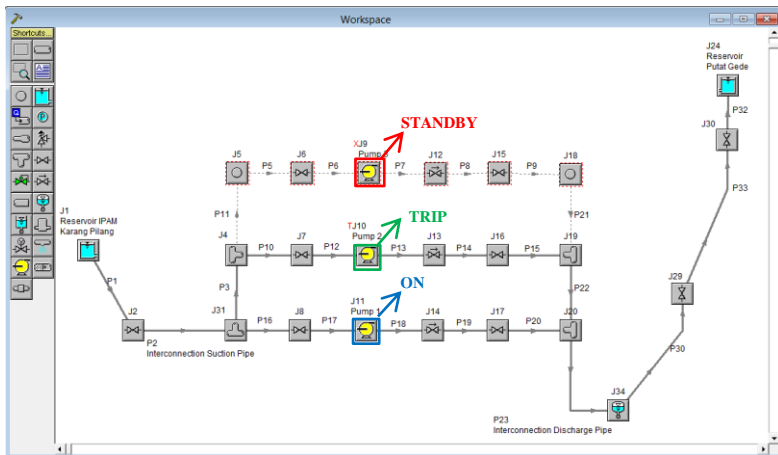
Gambar 3.7 Skenario Simulasi dengan Kondisi 1 Pompa ON dan 1 Pompa OFF dengan Proteksi Surge Tank

Pada gambar 3.8 merupakan skenario yang menjelaskan bahwa pompa 1 beroperasi dan pompa 2 tiba-tiba mengalami kegagalan atau trip dengan inersia tanpa adanya aliran balik (kondisi transient) sedangkan pompa 3 pada kondisi *standby*

Analisa pemodelan dilakukan dengan variasi *liquid height level* pada *surge tank*. Berikut merupakan skenario yang telah dibuat :

1. 1 pompa ON dan 1 pompa *OFF* – variasi liquid height level 1
2. 1 pompa ON dan 1 pompa *OFF* – variasi liquid height level 2
3. 1 pompa ON dan 1 pompa *OFF* – variasi liquid height level 3

III.3.2 Skenario 1 Pompa *ON* dan 1 Pompa *OFF* (Trip dengan Inersia tanpa Aliran Balik) dengan Proteksi *Gas Accumulator*



Gambar 3.8 Skenario Simulasi dengan Kondisi 1 Pompa *ON* dan 1 Pompa *OFF* dengan Proteksi *Gas Accumulator*

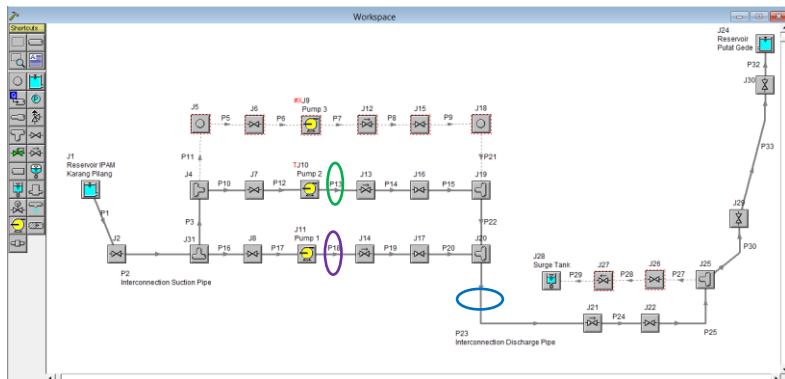
Pada gambar 3.9 merupakan skenario yang menjelaskan bahwa pompa 1 beroperasi dan pompa 2 tiba-tiba mengalami kegagalan atau trip dengan inersia tanpa adanya aliran balik (kondisi transient). Analisa pemodelan dilakukan dengan variasi volume *gas accumulator*. Berikut merupakan skenario yang telah dibuat :

1. 1 pompa ON dan 1 pompa *OFF* – variasi volume *gas accumulator* 1
2. 1 pompa ON dan 1 pompa *OFF* – variasi volume *gas accumulator* 2
3. 1 pompa ON dan 1 pompa *OFF* – variasi volume *gas accumulator* 3

III.4 Titik Analisa Pemodelan Sistem Perpipaan

Analisa pemodelan instalasi perpipaan pada simulasi dilakukan pada beberapa titik yang terkena dampak utama dari *water hammer*. Daerah yang dipilih untuk dianalisa meliputi discharge pompa, interconnection discharge *pipe* dan daerah proteksi *water hammer*. Titik-titik yang dianalisa sebagai berikut :




III.4.1 Skenario 1 pompa *ON* & 1 pompa *OFF* dengan Proteksi *Surge tank*



Gambar 3.9 Titik-titik Analisa Pada Simulasi Dengan Skenario 1 Pompa *ON* & 1 Pompa *OFF* dengan proteksi *Surge tank*

Detail titik-titik analisa tersebut dijelaskan pada tabel di bawah ini.

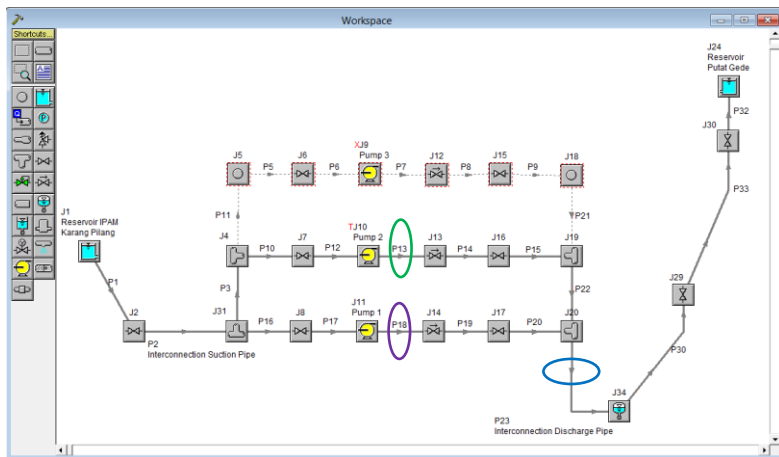
Tabel 3.7 Detail Titik Analisa Pada Simulasi Dengan Skenario 1 Pompa *ON* & 1 Pompa *OFF* dengan proteksi *Surge tank*)

No	Warna titik	Nomor pipa	Posisi pipa
1		P18	Discharge pompa 1
2		P13	Discharge pompa 2
3		P23	Pipa <i>discharge forwarding pump</i>

Titik analisa dilakukan di pipa P18 *inlet* untuk melihat dampak yang terjadi pada daerah *discharge* pompa 1 saat pompa tetap beroperasi ketika terjadi kegagalan pompa. Akibat dekatnya jarak antara pipa P18 dengan pipa keluaran utama (pipa 23) akan rentan mengalami lonjakan tekanan pada saat terjadi fenomena *water hammer*. Oleh karena itu daerah ini sangat penting dianalisa mengingat kemungkinan terjadi lonjakan tekanan akan sangat tinggi. Sedangkan titik analisa pada pipa P13 dilakukan untuk melihat respon di daerah *discharge* pompa 2 pada saat pompa mati akibat adanya kegagalan pompa ataupun padamnya listrik. Analisa pada pipa P23 dilakukan sebagai perbandingan tekanan antara pipa discharge utama (*pipe 23*) dan pipa-pipa di dekat discharge pompa akibat terjadinya fenomena *water hammer*.

Titik-titik ini merupakan titik yang akan dianalisa akibat terjadinya fenomena *water hammer* dengan proteksi *surge tank* karena pada titik tersebut mengalami lonjakan dan fluktuasi tekanan yang tinggi.




III.4.2 Skenario 1 pompa *ON* & 1 pompa *OFF* dengan Proteksi Gas Accumulator



Gambar 3.10 Titik-titik Analisa Pada Simulasi Dengan Skenario 1 Pompa *ON* & 1 Pompa *OFF* dengan proteksi Gas Accumulator

Detail titik-titik analisa tersebut dijelaskan pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.8 Detail Titik Analisa Pada Simulasi pada Skenario 1 Pompa *ON* & 1 Pompa *OFF* dengan proteksi Gas Accumulator

No	Warna titik	Nomor pipa	Posisi pipa
1		P18	Discharge pompa 1
2		P13	Discharge pompa 2
3		P23	Pipa <i>discharge forwarding pump</i>

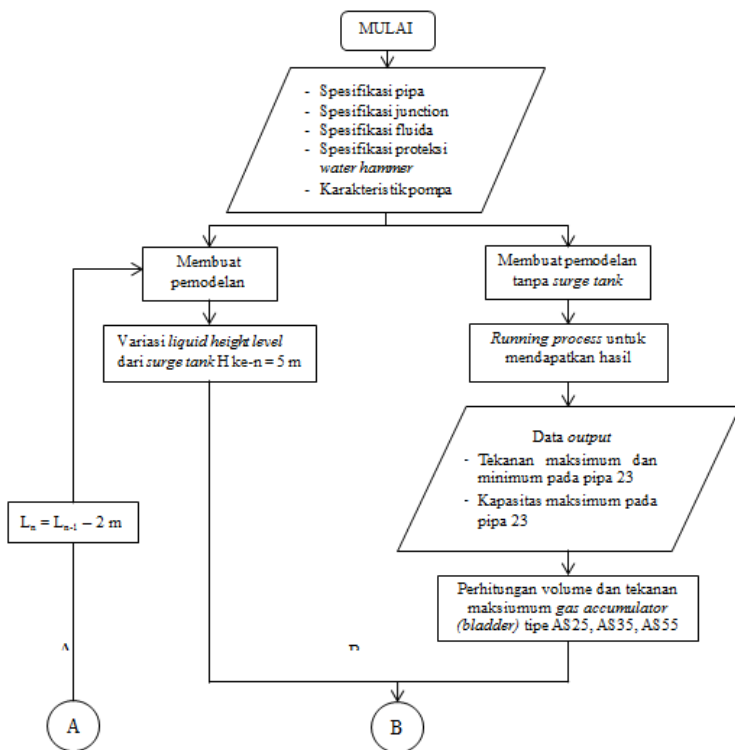
Titik analisa dilakukan di pipa P18 *inlet* untuk melihat dampak yang terjadi pada daerah *discharge* pompa 1 saat pompa tetap beroperasi ketika terjadi kegagalan pompa. Akibat dekatnya jarak antara pipa P18 dengan pipa keluaran utama (pipa 23) akan

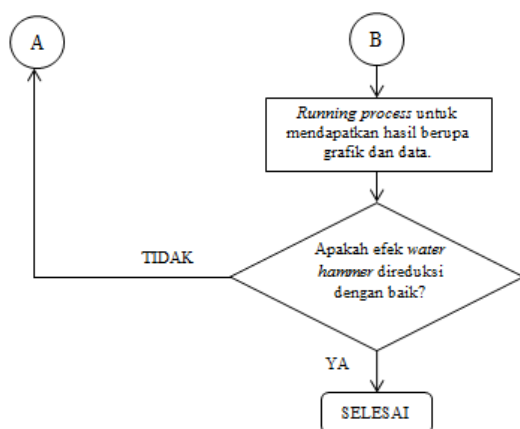
rentan mengalami lonjakan tekanan pada saat terjadi fenomena *water hammer*. Oleh karena itu daerah ini sangat penting dianalisa mengingat kemungkinan terjadi lonjakan tekanan akan sangat tinggi. Sedangkan titik analisa pada pipa P13 dilakukan untuk melihat respon di daerah *discharge* pompa 2 pada saat pompa mati akibat adanya kegagalan pompa ataupun padamnya listrik. Analisa pada pipa P23 dilakukan sebagai perbandingan tekanan antara pipa discharge utama (*pipe 23*) dan pipa-pipa di dekat discharge pompa akibat terjadinya fenomena *water hammer*.

Titik-titik ini merupakan titik yang akan dianalisa akibat terjadinya fenomena *water hammer* dengan proteksi *gas accumulator* karena pada titik tersebut mengalami lonjakan dan fluktuasi tekanan yang tinggi.

III.5 Skema Diagram Alir

Prosedur pemodelan yang dilakukan berdasarkan diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada gambar 3.1 seperti di bawah ini :





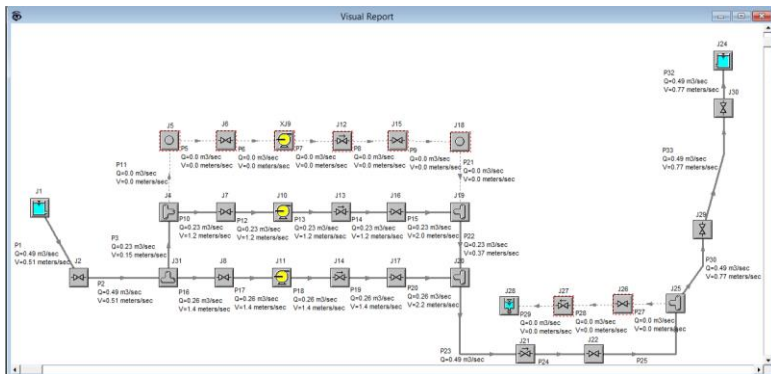
Gambar 3.11 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Analisa Steady

Dengan dua pompa yang beroperasi pada *forwarding* unit IPAM Karang Pilang 3 diinginkan kapasitas 800 liter/s. Tetapi dari pemodelan dengan *software* AFT impulse kapasitas tersebut tidak tercapai. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya, pemasangan pompa secara paralel, *fitting* yang terdapat pada instalasi perpipaan, jarak yang cukup jauh untuk pendistribusian air yaitu ± 7 km, serta skema instalasi perpipaan sendiri. Semakin kompleks instalasi perpipaan maka akan semakin tinggi pula *head pipe line* nya, sehingga menyebabkan kapasitas menurun. Berikut gambar 4.1 merupakan kapasitas yang dihasilkan pada pemodelan sesuai dengan data aktual.



Gambar 4.1 Hasil Simulasi Untuk Analisa Kondisi Steady pada Pemodelan Sistem Perpipaan di IPAM Karang Pilang 3 PT PDAM Surya Sembada Surabaya

IV.2 Hasil Simulasi

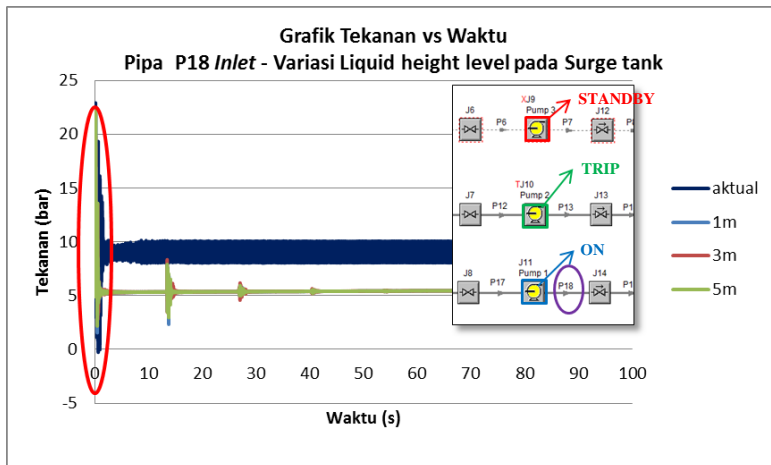
Dilakukan *running process* pada *software* AFT Impulse 4.0 untuk mendapatkan hasil dari variasi *liquid height level* pada *surge tank* dan variasi volume *gas accumulator* tipe AS. Skenario

yang digunakan adalah skenario saat 1 pompa *on* dan 1 pompa *off*. Berikut hasil dari simulasi :

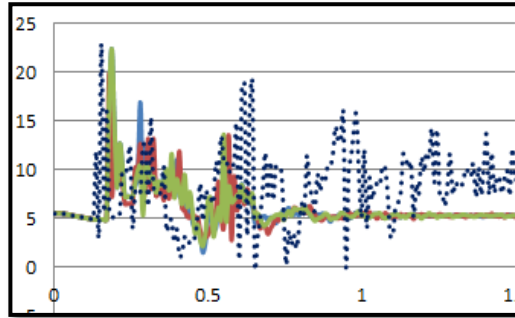
IV.2.1 Skenario 1 pompa *on* dan 1 pompa *off* – dengan variasi *liquid height level* pada *surge tank*

Dilakukan analisa pada skenario ini yang menjelaskan bahwa pompa 1 beroperasi dan pompa 2 tiba-tiba mengalami kegagalan atau *trip* sedangkan pompa 3 pada kondisi *standby*. Analisa pemodelan dilakukan dengan variasi *liquid height level* pada *surge tank*. Berikut merupakan hasil dari simulasi :

- Titik analisa pada pipa P18 *inlet* (discharge pompa 1)



Gambar 4.2 Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet (*Discharge pompa 1*) dengan Variasi *Liquid Height Level Surge Tank*.



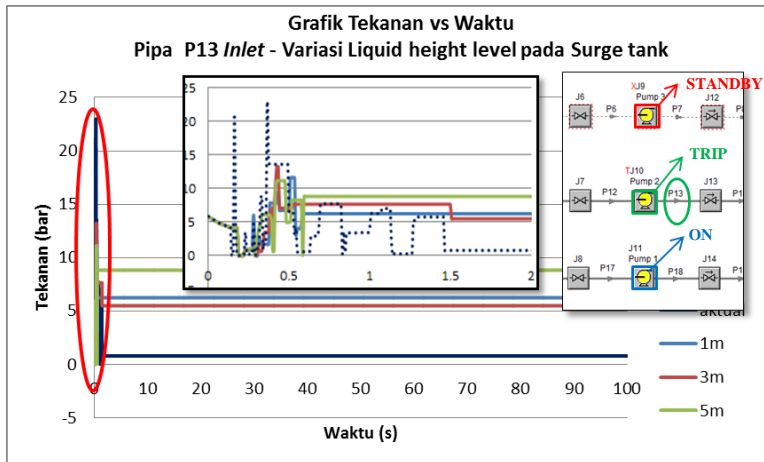
Gambar 4.3 Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet (Discharge pompa 1) dengan Variasi Liquid Height Level Surge Tank saat detik ke-0 sampai detik ke-1.

Pipa P18 (lingkaran berwarna ungu) merupakan discharge pompa 1 dimana saat pompa 2 mengalami kegagalan operasi (*trip*) dan pompa 1 tetap dalam kondisi beroperasi (*on*). Gambar 4.2 menunjukkan lonjakan tekanan akibat fenomena *water hammer* dengan variasi *liquid height level* pada *surge tank*. Terlihat jelas pada gambar 4.3 lonjakan tekanan maksimum (*peak*) dan minimum sebesar 22,9 bar pada saat 0,15 detik dan 0,043 bar pada saat 0,65 detik, setelah itu fluktuasi tekanan yang cukup besar tetap terjadi hingga detik ke-100. Hal ini terjadi pada kondisi aktual, yaitu kondisi saat *surge tank* dalam keadaan kosong dan oleh karena itu dilakukan pemodelan variasi *liquid height level* pada *surge tank* agar dapat mereduksi lonjakan tekanan yang terjadi. Dapat dilihat pada grafik bahwa untuk *liquid height level* 1 meter, 3 meter dan 5 meter memiliki *peak pressure* yang sama yaitu sebesar 22.31 bar pada saat 0,18 detik. Terjadi lonjakan tekanan yang lebih kecil dari lonjakan pertama (*first upsurge*) pada detik ke-13,5 dan detik ke-26,9, kemudian secara perlahan lonjakan yang ditimbulkan hilang. Terlihat dari variasi lainnya, *liquid height level* untuk 5 meter memiliki fluktuasi tekanan yang cenderung lebih stabil.

Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan dan semakin stabilnya lonjakan tekanan yang diakibatkan fenomena *water hammer* antara kondisi aktual dan variasi *liquid height level*

pada *surge tank*. Semakin tinggi air yang berada pada *surge tank* maka semakin baik pula untuk meredam terjadinya lonjakan tekanan. Karena air yang berada di dalam *surge tank* dapat menahan/menghambat gelombang tekanan yang datang akibat fenomena *water hammer*.

- Titik analisa pada pipa P13 *inlet* (discharge pompa 2)



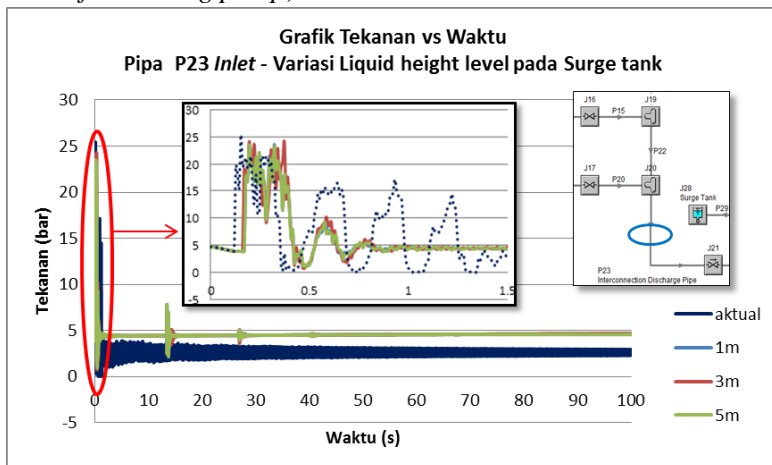
Gambar 4.4 Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P13 Inlet (Discharge pompa 2) dengan Variasi Liquid Height Level Surge Tank

Pipa P13 (lingkaran berwarna hijau) merupakan discharge pompa 2 dimana pompa tersebut mengalami kegagalan operasi (*trip*). Gambar 4.4 menunjukkan lonjakan tekanan akibat fenomena *water hammer* dengan variasi *liquid height level* pada *surge tank*. Terlihat lonjakan tekanan maksimum (*peak*) dan minimum sebesar 22,73 bar pada saat detik ke-0.36 dan 0,04 bar pada saat detik ke-0.14, setelah itu tidak terjadi fluktuasi tekanan pada detik ke-1,5. Hal ini terjadi pada kondisi aktual, yaitu kondisi saat *surge tank* dalam keadaan kosong dan oleh karena itu dilakukan pemodelan variasi *liquid height level* pada *surge tank* agar dapat mereduksi lonjakan tekanan yang terjadi. Selain itu,

pada grafik terlihat bahwa untuk *liquid height level* 1 meter memiliki *peak pressure* sebesar 11,61 pada saat detik ke-0,51, dan untuk *liquid height level* 3 meter memiliki *peak pressure* sebesar 13,22 pada saat detik ke-0,43, serta untuk *liquid height level* 5 meter memiliki *peak pressure* sebesar 11,12 bar pada saat detik ke-0,43. Maka untuk *liquid height level* 5 meter memiliki *peak pressure* yang lebih kecil daripada variasi lainnya.

Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan dan semakin stabilnya lonjakan tekanan yang diakibatkan fenomena *water hammer* antara kondisi aktual dan variasi *liquid height level* pada *surge tank*. Semakin tinggi air yang berada pada *surge tank* maka semakin baik pula untuk meredam terjadinya lonjakan tekanan. Karena air yang berada di dalam *surge tank* dapat menahan/menghambat gelombang tekanan yang datang akibat fenomena *water hammer*.

- Titik analisa pada pipa P23 *inlet* (pipa *discharge forwarding pump*)



Gambar 4.5 Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P23 Inlet (Discharge Forwarding Pump) dengan Variasi Liquid Height Level Surge Tank.

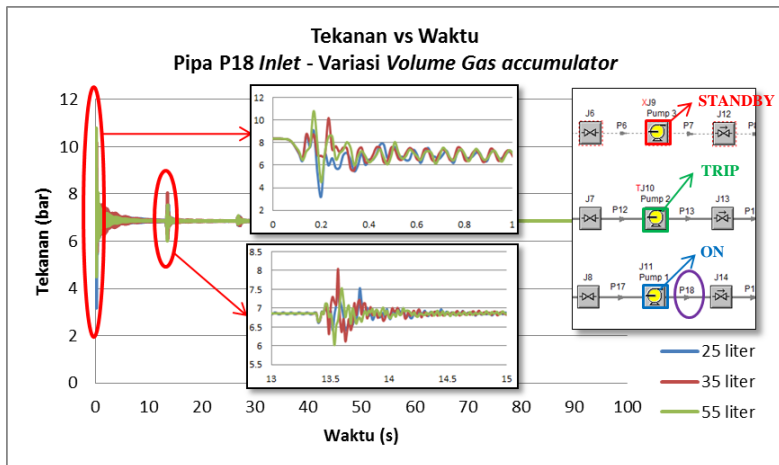
Pipa P23 (lingkaran berwarna biru muda) merupakan *discharge forwarding pump* sebagai *discharge* utama air dialirkan menuju reservoir Putat Gede. Gambar 4.5 menunjukkan lonjakan tekanan akibat fenomena *water hammer* dengan variasi *liquid height level* pada *surge tank*. Terlihat lonjakan tekanan maksimum (*peak pressure*) dan minimum sebesar 25,38 bar pada saat detik ke-0.15 dan 0,04 bar pada saat detik ke-0.73, setelah itu terjadi fluktuasi tekanan hingga detik ke-100. Hal ini terjadi pada kondisi aktual, yaitu kondisi saat *surge tank* dalam keadaan kosong dan oleh karena itu dilakukan pemodelan variasi *liquid height level* pada *surge tank* agar dapat mereduksi lonjakan tekanan yang terjadi. Pada grafik terlihat bahwa untuk *liquid height level* 1 meter memiliki *peak pressure* sebesar 23,6 bar pada saat detik ke-0,32, dan untuk *liquid height level* 3 meter memiliki *peak pressure* sebesar 24,04 bar pada saat detik ke-0,37, serta untuk *liquid height level* 5 meter memiliki *peak pressure* sebesar 23,42 bar pada saat detik ke-0,19. Maka untuk *liquid height level* 5 meter memiliki *peak pressure* yang lebih rendah daripada variasi lainnya.

Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan dan semakin stabilnya lonjakan tekanan yang diakibatkan fenomena *water hammer* antara kondisi aktual dan variasi *liquid height level* pada *surge tank*. Semakin tinggi air yang berada pada *surge tank* maka semakin baik pula untuk meredam terjadinya lonjakan tekanan. Karena air yang berada di dalam *surge tank* dapat menahan/menghambat gelombang tekanan yang datang akibat fenomena *water hammer*.

IV.2.2 Skenario 1 pompa *on* dan 1 pompa *off* – dengan variasi *volume gas accumulator*

Dilakukan analisa pada skenario ini yang menjelaskan bahwa pompa 1 beroperasi dan pompa 2 tiba-tiba mengalami kegagalan atau *trip* sedangkan pompa 3 pada kondisi *standby*. Analisa pemodelan dilakukan dengan variasi *volume gas accumulator*. Berikut merupakan hasil dari simulasi :

- Titik analisa pada pipa P18 *inlet* (pipa *discharge* pompa 1)

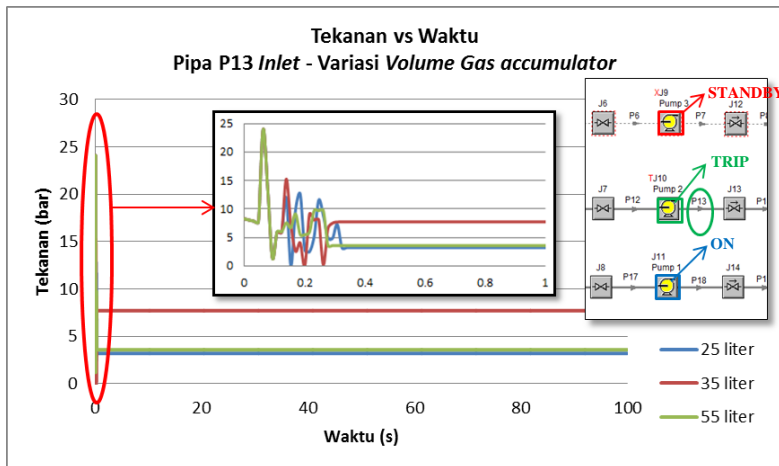


Gambar 4.6 Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet (*Discharge* pompa 1) dengan Variasi Volume Gas Accumulator

Pipa P18 (lingkaran berwarna ungu) merupakan *discharge* pompa 1 dimana saat pompa 2 mengalami kegagalan operasi (*trip*) dan pompa 1 tetap dalam kondisi beroperasi (*on*). Gambar 4.6 menunjukkan lonjakan tekanan akibat fenomena *water hammer* dengan variasi volume *gas accumulator*. Terlihat bahwa variasi volume 55 liter memiliki lonjakan tekanan maksimum (*peak pressure*) dan minimum sebesar 10,8 bar pada saat detik ke-0,17 dan 4,5 bar pada saat detik ke-0,2. Variasi volume 35 liter menunjukkan tekanan maksimum sebesar 10,2 bar pada saat detik ke-0,23, sedangkan variasi volume 25 liter menunjukkan tekanan maksimum sebesar 9 bar pada saat detik ke-0,17. Semua variasi volume mengalami penurunan secara bertahap/perlahan dan terjadi beberapa lonjakan kembali pada waktu tertentu. *Peak pressure* tertinggi dan fluktuasi terstabil dari semua variasi volume *gas accumulator*, yaitu volume 55 liter.

Pada pipa P18 terdapat pompa yang masih beroperasi sehingga semakin besar volume *gas accumulator* maka semakin tinggi pula *peak pressure* yang terjadi, tetapi memiliki tingkat redaman yang semakin stabil pula. Karena saat terjadi fenomena *water hammer*, *gas accumulator* dengan volume (size) terkecil memiliki kemampuan untuk bekerja lebih cepat untuk mereduksi lonjakan tekanan tetapi masih dalam batas kapasitas volumenya sehingga *peak pressure* yang terjadi lebih kecil tetapi memiliki tingkat redaman yang kecil pula.

- Titik analisa pada pipa P13 *inlet* (pipa *discharge* pompa 2)



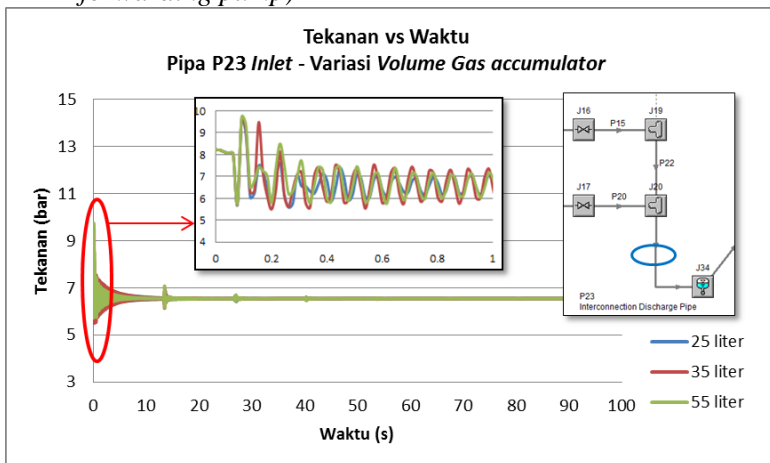
Gambar 4.7 Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P13 Inlet (Discharge pompa 2) dengan Variasi Volume Gas Accumulator

Pipa P13 (lingkaran berwarna hijau) merupakan *discharge* pompa 2 dimana pompa tersebut mengalami kegagalan operasi (*trip*). Gambar 4.7 menunjukkan lonjakan tekanan akibat fenomena *water hammer* dengan variasi volume *gas accumulator*. Terlihat bahwa variasi volume 55 liter, 35 liter dan 25 liter memiliki lonjakan tekanan maksimum (*peak pressure*) yang sama, yaitu 24 bar pada saat detik ke-0,06, kemudian mencapai

tekanan yang konstan kurang dari 0,4 detik. Variasi volume 55 liter cenderung lebih stabil daripada variasi volume 35 liter dan 25 liter.

Efek dari *water hammer* ini terjadi sangat cepat sekali pada saat kondisi pipa tidak ada aliran air akibat pompa mati (*off*) sehingga fluktuasi tekanan tidak berlangsung lama, hanya sepersekian detik saja. Semakin besar volume *gas accumulator* maka fluktuasi tekanan yang diredam akan semakin stabil.

- Titik analisa pada pipa P23 *inlet* (pipa *discharge forwarding pump*)



Gambar 4.8 Grafik Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P23 Inlet (Discharge Forwarding Pump) dengan Variasi Volume Gas Accumulator

Pipa P23 (lingkaran berwarna biru muda) merupakan *discharge forwarding pump* sebagai *discharge* utama air yang dialirkan menuju reservoir Putat Gede. Gambar 4.8 menunjukkan lonjakan tekanan akibat fenomena *water hammer* dengan variasi volume *gas accumulator*. Terlihat bahwa variasi volume 55 liter, 35 liter dan 25 liter memiliki lonjakan tekanan maksimum (*peak pressure*) sebesar 9,3 bar, 9,1 bar dan 8,9 bar pada saat detik ke-0.1. Meskipun variasi volume 55 liter memiliki lonjakan tertinggi

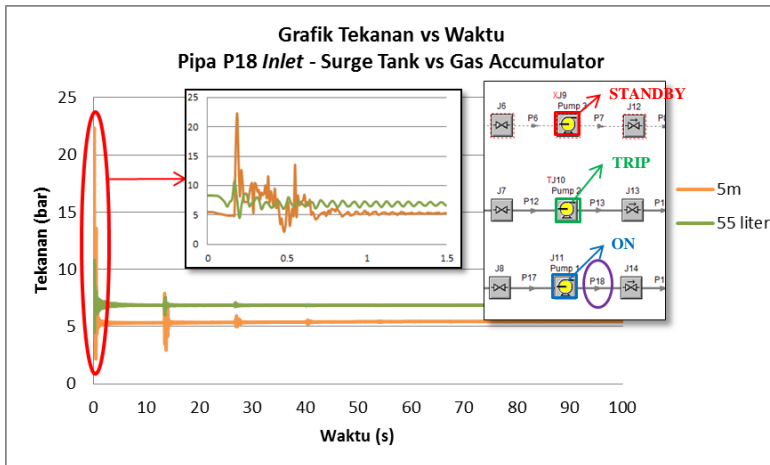
tetapi fluktuasi tekanan lebih stabil dari pada variasi yang lain. Semua variasi volume mengalami penurunan secara bertahap dan terjadi beberapa lonjakan kembali pada waktu tertentu.

Hal ini karena adanya air yang mengalir dalam pipa untuk didistribusikan, sehingga semakin besar volume *gas accumulator* maka akan semakin besar pula *peak pressure* yang terjadi, tetapi tingkat redaman yang semakin stabil pula. Saat terjadi fenomena *water hammer*, *gas accumulator* dengan volume (*size*) terkecil memiliki kemampuan untuk bekerja lebih cepat untuk mereduksi lonjakan tekanan tetapi masih dalam batas kapasitas volumenya sehingga *peak pressure* yang terjadi lebih kecil tetapi memiliki tingkat stabil yang kecil pula.

IV.2.3 Perbandingan Grafik untuk Pemodelan dengan Variasi *Liquid Height Level* pada *Surge Tank* vs *Volume Gas Accumulator* pada Skenario 1 Pompa *on* dan 1 Pompa *off*

Analisa ini dilakukan untuk menunjukkan perbandingan fluktuasi tekanan antara *liquid height level* (5 meter) pada *surge tank* dan variasi volume *gas accumulator* (55 liter). Berikut merupakan titik yang akan dianalisa :

- Titik analisa pada pipa P18 *inlet* (discharge pompa 1)



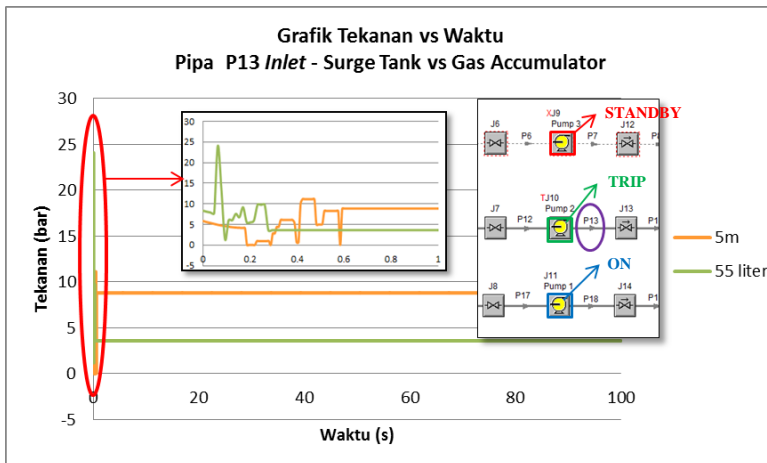
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P18 Inlet (Discharge Pompa 1) dengan Variasi Liquid Height Level pada Surge Tank vs Volume Gas Accumulator

Pipa P18 merupakan *discharge* pompa 1 dimana saat pompa 2 mengalami kegagalan operasi (*trip*) dan pompa 1 tetap dalam kondisi beroperasi (*on*). Gambar 4.9 menunjukkan lonjakan tekanan akibat fenomena *water hammer* antara *liquid height level* 5 meter pada *surge tank* dan volume *gas accumulator* 55 liter. Terlihat bahwa *liquid height level* 5 meter menunjukkan lonjakan tekanan tertinggi dengan tekanan maksimum sebesar 22,3 bar pada saat detik ke-0,19, sedangkan volume *gas accumulator* 55 liter sebesar 10,8 bar pada saat detik ke 0,17. Kedua variasi mengalami penurunan tekanan secara bertahap dan terjadi beberapa lonjakan kembali pada detik tertentu.

Pengaruh proteksi *water hammer* dengan volume *gas accumulator* 55 liter mampu mereduksi lonjakan tekanan lebih baik dari pada *liquid height level* 5 meter pada *surge tank*. Hal ini karena cara kerja dari *gas accumulator*, yaitu proses kompresi

dan ekspansi dimana saat terjadi fenomena *water hammer*, gelombang bertekanan yang datang ke arah pompa kondisi masih beroperasi (*on*) direduksi oleh *gas accumulator* sehingga fluktuasi tekanan yang terjadi semakin stabil. Pada *gas accumulator* terdapat *poppet valve* yang berfungsi untuk menghambat gelombang bertekanan. Jadi, pada *gas accumulator* terdapat 2 sistem yang menghambat/mereduksi lonjakan tekanan yaitu, *bladder* dan *poppet valve*.

- Titik analisa pada pipa P13 inlet (*discharge pompa 2*)



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Tekanan terhadap Waktu pada Pipa P13 Inlet (*Discharge Pompa 2*) dengan Variasi *Liquid Height Level Surge Tank* vs *Volume Gas Accumulator*

Pipa P13 merupakan *discharge* pompa 2 dimana pompa tersebut mengalami kegagalan operasi (*trip*). Gambar 4.10 menunjukkan lonjakan tekanan akibat fenomena *water hammer* antara *liquid height level* 5 meter pada *surge tank* dan volume *gas accumulator* 55 liter. Terlihat bahwa volume *gas accumulator* 55 liter menunjukkan lonjakan tekanan tertinggi dengan tekanan maksimum dan minimum sebesar 24 bar pada saat detik ke-0,06 dan 1,4 bar pada saat detik ke-0,09, sedangkan *liquid height level*

5 meter sebesar 11,12 bar pada saat detik ke 0,43 dan 0,03 bar pada saat detik ke-0,19. Tekanan konstan terlihat sebelum detik ke-0,6 dari kedua proteksi *water hammer* tersebut. Hal ini karena tidak adanya aliran menuju reservoir Putat Gede akibat pompa gagal beroperasi (*trip*).

Pengaruh proteksi *water hammer* dengan *liquid height level* 5 meter pada *surge tank* mampu mereduksi lonjakan tekanan lebih baik dari pada volume *gas accumulator* 55 liter. Hal ini karena tidak adanya air yang dialirkan dan cara kerja dari *surge tank*, yaitu dengan adanya fluida di dalam *surge tank*, gelombang tekanan yang diakibatkan oleh fenomena *water hammer* dapat diredam dengan baik.

Halaman sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.I Kesimpulan

Dari simulasi yang dilakukan berupa variasi *liquid height level* pada *surge tank* dan variasi volume *gas accumulator* sebagai proteksi *water hammer* pada unit IPAM Karang Pilang 3 untuk mereduksi terjadinya lonjakan dan fluktuasi tekanan, maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi *liquid height level* pada *surge tank* dan variasi volume *gas accumulator* dapat mereduksi terjadinya lonjakan dan fluktuasi tekanan akibat fenomena *water hammer*.
2. Penggunaan variasi *liquid height level* pada *surge tank* dapat mereduksi terjadinya lonjakan tekanan. Diantara variasi *liquid height level* 1 meter, 3 meter dan 5 meter, variasi *liquid height level* 5 meter yang lebih mampu mereduksi lonjakan tekanan akibat *water hammer*
3. Penggunaan variasi volume *gas accumulator* dapat mereduksi terjadinya lonjakan tekanan. Diantara variasi volume *gas accumulator* 25 liter, 35 liter dan 55 liter, variasi volume 55 liter yang lebih mampu meredam fluktuasi tekanan akibat *water hammer*
4. Jika dibandingkan antara *liquid height level* 5 meter pada *surge tank* dan volume *gas accumulator* 55 liter, volume *gas accumulator* 55 liter dianggap lebih efektif untuk mereduksi terjadinya lonjakan dan fluktuasi tekanan.
5. Pipa P18, P23 merupakan pipa yang masih terdapat air yang mengalir karena pompa 1 dalam keadaan beroperasi saat terjadi fenomena *water hammer*. Hal ini menyebabkan variasi *liquid height level* 5 meter pada *surge tank* memiliki lonjakan

tekanan yang tinggi dari pada volume *gas accumulator* 55 liter.

6. Pipa P13 merupakan *discharge* pompa yang mengalami trip, sehingga tidak ada aliran yang menuju *reservoir* di Putat Gede. Hal ini menyebabkan volume *gas accumulator* 55 liter memiliki lonjakan tekanan yang tinggi dari pada *liquid height level* 5 meter pada *surge tank*.

V.2 Saran

Dari simulasi yang dilakukan berupa variasi *liquid height level* pada *surge tank* dan variasi volume *gas accumulator* sebagai proteksi *water hammer* pada unit IPAM Karang Pilang 3 untuk mereduksi terjadinya lonjakan dan fluktuasi tekanan. Saran yang perlu dipertimbangkan tanpa melihat sisi ekonomisnya, sebagai berikut :

1. Pada *surge tank* sebaiknya berisikan air agar ketika terjadi fenomena *water hammer*, lonjakan dan fluktuasi tekanan yang terjadi dapat direduksi dengan baik. Penempatan antara *surge tank* dan *forwarding pump* sebaiknya berkisar antara 10-20 meter, karena jika terlalu jauh efek dari proteksi *water hammer* tidak dapat bekerja secara maksimal.
2. Semakin besar volume *gas accumulator* maka semakin baik pula untuk mereduksi fluktuasi tekanan yang terjadi. Hal ini dapat dijadikan alternatif penggantian sistem proteksi ataupun untuk pembangunan instalasi selanjutnya.
3. Penambahan *gas accumulator* sebaiknya diletakkan pada masing-masing *discharge* pompa, karena dapat mereduksi jauh lebih efektif dari pada diletakkan pada *discharge forwarding pump*

Halaman sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mahanna, Loeb and Magalhaes. 2014. **Water Hammer and Surge Tanks**. Cive 401.
- [2] Applied Flow Technology. 2008. **AFT Impulse User's Guide, Water Hammer Modeling in Piping System, AFT Impulse version 4.0**. United States of America: Applied Flow Technology.
- [3] Wylie, E.B., V.L. Streeter., dan L. Suo. 1993. **Fluid Transients in Systems**. New Jersey, USA: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs
- [4] Sularso, Harou Tahara. 1983. **Pompa dan Kompresor**. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- [5] Jonsson, L., 1900. **Mean Velocity Profiles in Transient Flows**. Proc 9th and last Round Table on Water Column Separation, Cabrera, E. and Fanelli, M.A., (eds).
- [6] EPE ITALIANA s.r.l epoll. 2010. **Accumulator Sizing**. Italia : Viale Spagna, 112 · 20093 Cologne Monzese (Mi)
- [7] American Water Works Association (AWWA). 2004. **Steel Pipe – A Guide for Design and Installation, AWWA Manual M11, Fourth Edition**. United States of America: American Water Works Association.
- [8] Ramadan, Abdulghani and Hatem Mustafa. 2013. ***Surge Tank Design Considerations for Controlling Water Hammer Effects at Hydro-electric Power Plants. ISSUE No.15 – Vol. 3.***

- [9] Constantin, Anca and Claudiu Stefan Nitescu. 2011. **Simulation of Water Hammer Phenomenon in a Pumping Discharge Duct Protected by Air**. Vol.1.
- [10] Barnwal, M.K., dkk. 2014. **Effect of Hydraulic Accumulator on the System Parameters of an Open Loop Transmission System**. Design and Research Conference (AIMTDR 2014).
- [11] PDAM Kota Surabaya. 2009. **Data-data Teknis IPAM Karang Pilang III**. Surabaya: PT PDAM Surya Sembada Surabaya.

LAMPIRAN 1

Spesifikasi pipa yang digunakan pada unit rumah pompa karang pilang 3 arah Putat Gede adalah sebagai berikut.

Tabel Spesifikasi Pipa Pada Simulasi

Nomor Pipa	Panjang Pipa (meter)	Material Pipa	Diameter Pipa (milimeter)	Tebal Pipa (milimeter)
P1	6	<i>Steel</i>	1100	25
P2	2,1	<i>Steel</i>	1100	25
P3	3,375	<i>Steel</i>	1400	27
P5	1	<i>Steel</i>	489	9,52
P6	2	<i>Steel</i>	489	9,52
P7	1	<i>Steel</i>	489	9,52
P8	3	<i>Steel</i>	489	9,52
P9	2	<i>Steel</i>	387	8,73
P10	1	<i>Steel</i>	489	9,52
P11	3,375	<i>Steel</i>	1400	27
P12	2	<i>Steel</i>	489	9,52
P13	1	<i>Steel</i>	489	9,52
P14	3	<i>Steel</i>	489	9,52
P15	2	<i>Steel</i>	387	8,73
P16	1	<i>Steel</i>	489	9,52
P17	2	<i>Steel</i>	489	9,52
P18	1	<i>Steel</i>	489	9,52
P19	3	<i>Steel</i>	489	9,52
P20	2	<i>Steel</i>	387	8,73
P21	3,375	<i>Steel</i>	895	19
P22	3,375	<i>Steel</i>	895	19

P23	43	<i>Steel</i>	895	19
P24	1	<i>Steel</i>	895	19
P25	6	<i>Steel</i>	895	19
P27	3,025	<i>Steel</i>	600	9.52
P28	1,512	<i>Steel</i>	600	9.52
P29	1,512	<i>Steel</i>	600	9.52
P30	1113,34	<i>Steel</i>	900	19.2
P32	5	<i>Steel</i>	900	19.2
P33	6041,56	<i>Steel</i>	900	19.2

Untuk pemodelan dengan *gas accumulator* maka spesifikasi pipa mengalami perubahan diantaranya tidak adanya pipa (P27, P28, P29) dan bertambahnya pipa (P35)

P35	2	<i>Steel</i>	895	19
------------	---	--------------	-----	----

LAMPIRAN 2

Spesifikasi junction dan komponen penyusun perpipaan yang digunakan pada unit rumah pompa karang pilang 3 arah Putat Gede adalah sebagai berikut.

Tabel *Junction* Pipa

Nomor <i>Junction</i>	Jenis <i>Junction</i>	Elevasi (meter)
J1	Reservoir Karang Pilang 3	6,07
J2	<i>Butterfly valve</i>	1.74
J31	<i>Branch</i>	1.74
J4	<i>Tee</i>	1.74
J5	<i>Branch</i>	1.74
J6	<i>Butterfly valve</i>	1.74
J7	<i>Butterfly valve</i>	1.74
J8	<i>Butterfly valve</i>	1.74
J9	<i>Pump 3</i>	1.74
J10	<i>Pump 2</i>	1.74
J11	<i>Pump 1</i>	1.74
J12	<i>Check valve</i>	1.74
J13	<i>Check valve</i>	1.74
J14	<i>Check valve</i>	1.74
J15	<i>Butterfly valve</i>	1.74
J16	<i>Butterfly valve</i>	1.74
J17	<i>Butterfly valve</i>	1.74
J18	<i>Branch</i>	1.74
J19	<i>Tee</i>	1.74
J20	<i>Tee</i>	1.74
J21	<i>Check valve</i>	1.74
J22	<i>Butterfly valve</i>	1.74
J25	<i>Branch</i>	7
J26	<i>Butterfly valve</i>	7
J27	<i>Check valve</i>	7

J28	<i>Surge Tank</i>	7
J29	<i>Butterfly valve</i>	12
J30	<i>Butterfly valve</i>	25
J31	<i>Tandon Putat Gede</i>	25
J34	<i>Gas Accumulator</i>	1.74

LAMPIRAN 3

Perhitungan *size gas accumulator* :

Diketahui :

- $Q = 1872 \frac{m^3}{h}$
- $L = 1113,34 m$
- $\rho = 995,7 \frac{kg}{m^3}$
- $d = 895 mm$
- $t = 0.9 s$
- $S = \frac{\pi \times 895^2}{4} = 629123 mm^2$
- $V = \frac{1872 \times 1000}{629123 \times 3,6} = 0,82 \frac{m}{s}$
- $p_1 = 5,2 bar = 6,2 abs. bar$
- $p_0 = 0,9 \times 5,2 bar = 4,7 bar = 5,7 abs. bar$
- $p_2 = 23 bar = 24 abs. bar$
- $\Delta p = 23 - 5,2 = 17,8 bar$

➤ Perhitungan *Overpressure* Δp_{max} *gas accumulator* :

$$\Delta p = \frac{2 \times 995,7 \times 1113,34 \times 0,8}{0.9 \times 10^5} = 19,8 bar$$

➤ Perhitungan kapasitas volume *gas accumulator* V_0 :

$$V_0 = \frac{\frac{1980}{7,2} \left(\frac{2 \times 995,7 \times 1113,34 \times 0,82}{17,8 \times 10^5} - 0,9 \right)}{\left(\frac{5,7}{6,2} \right)^{0,7143} - \left(\frac{5,7}{24} \right)^{0,7143}} = 54,07 liter$$

LAMPIRAN 4

Perhitungan momen inersia *impeller* pompa dan motor penggerak:

1. Perhitungan momen inersia untuk *impeller* pompa dan air yang tertahan pada *casing* pompa:

➤ Daya pompa (P) = 200 kW

➤ Putaran motor (N) = 990 rpm

$$\bullet I_p = 1,5(10^7) \left(\frac{P}{N^3}\right)^{0,9556} = 1,5(10^7) \left(\frac{200}{990^3}\right)^{0,9556} = 6,7 \text{ kg.m}^2$$

✚ Momen inersia dari *impeller* pompa dan air yang tertahan pada *casing* pompa adalah $I_p = 6,7 \text{ kg.m}^2$.

2. Perhitungan momen inersia untuk motor penggerak pompa:

$$\bullet I_m = 118 \left(\frac{P}{N}\right)^{1,48} = 118 \left(\frac{200}{990}\right)^{1,48} = 11,06 \text{ kg.m}^2$$

✚ Momen inersia untuk motor penggerak pompa adalah $I_m = 11,06 \text{ kg.m}^2$.

$$\text{Maka, Total} = 6,7 \text{ kg.m}^2 + 11,06 \text{ kg.m}^2 \\ = 17,7 \text{ kg.m}^2$$

LAMPIRAN 5

Perhitungan *max pressure* yang dapat ditahan oleh ketebalan pipa P18 Discharge Pompa dengan data, yaitu : tebal pipa, *outside diameter* dan *Allowable design stress for steel*.

- *Allowable design stress for steel* (S) = 15000 psi = 1034,21 bar
- *Inside diameter, exc. coatings* (D) = 489 mm
- *Safety Factor* (M) = 0,875
- *Internal pressure maximum* (P)

$$\bullet \quad t = \frac{p D}{2 S 0.875} \quad \Rightarrow \quad p = \frac{2 S t M}{D}$$

$$p = \frac{2 \times 1034,21 \times 9,52 \times 0,875}{489}$$

$$p = 34,52 \text{ bar}$$

✚ Dari hasil $p = 34,52$ bar, didapat kesimpulan bahwa ketahanan pipa terhadap *peak pressure* akibat *water hammer* baik itu dalam kondisi aktual ataupun variasi *liquid height level* pada *surge tank* dan variasi volume *gas accumulator* masih dalam batas aman, yaitu $p < 34,52$ bar.

Halaman sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Pangki Ferdiansyah. Penulis dilahirkan di Bangkalan, 15 Maret 1994, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu, SDN Demangan 02 Bangkalan, SMPN 04 Bangkalan, SMAN 01 Bangkalan dan Diploma Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Surabaya. Pada tahun 2015, penulis menempuh pendidikan Lintas Jalur (S1) Teknik Mesin FTI – ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 2115 105 038. Konversi Energi merupakan bidang studi yang dipilih penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.

Penulis dapat dihubungi melalui email pangkif15@gmail.com atau 081559810060